

Міністерство освіти і науки України
Житомирський державний університет імені Івана Франка

Український журнал природничих наук

№ 13

Науковий журнал,
заснований у 2022 році



Видавничий дім
«Гельветика»
2025

*Видається за рішенням вченої ради Житомирського державного університету імені Івана Франка
(протокол № 18 від 26.09.2025 року).*

Головний редактор

Овчаренко Микола – габілітований доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, професор Інституту біології та охорони середовища Поморської академії наук (Слупськ, Республіка Польща)

Заступник головного редактора

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

Відповідальний секретар

Пацюк Марина – кандидат біологічних наук, доцент кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Члени редакційної колегії

Атасарал Шебнем – доктор наук, професор відділу розробки технології рибальства факультету морських наук Караденізького технічного університету (Трабзон, Турецька Республіка)

Боймуродов Хуснідін – доктор біологічних наук, професор кафедри біотехнології Самаркандського інституту ветеринарної медицини (Самарканд, Республіка Узбекистан)

Власенко Руслана – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Воловик Володимир – доктор географічних наук, доцент, професор кафедри географії Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського (Вінниця, Україна)

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

Жовнерчук Ольга – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник Інституту зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України (Київ, Україна)

Зайонц Талеуш – доктор біологічних наук, професор Інституту захисту природи Польської академії наук (Краків, Польща)

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

Кичкирук Ольга – кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Корнійчук Наталія – кандидат біологічних наук, доцент кафедри медико-біологічних дисциплін Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Кривенко Анна – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувачка кафедри захисту, генетики і селекції рослин Одеського державного аграрного університету (Одеса, Україна)

Кусяк Наталія – кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Кюрчев Володимир – доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НААН, радник ректора, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного (Мелітополь, Україна)

Лаврик Олександр – доктор географічних наук, професор кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Листван Віталій – кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Марченко Тетяна – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу селекції сільськогосподарських культур Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України (Одеса, Україна)

Мищенко Сергій – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри біології, здоров'я людини та методики навчання Глухівського національного педагогічного університету імені Олександра Довженка (Глухів, Україна)

Мудрак Галина – кандидат географічних наук, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища Вінницького національного аграрного університету (Вінниця, Україна)

Нестерчук Інна – кандидат географічних наук, доцент кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Оксентюк Ярослава – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри медико-біологічних дисциплін Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Островський Ілля – доктор філософії (біологія/лімнологія), професор, старший науковий співробітник Інституту океанографії і лімнології, Кінеретська лімнологічна лабораторія (Хайфа, Ізраїль)

Пілярська Олена – кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, завідувачка відділу маркетингу та міжнародної діяльності, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України (Одеса, Україна)

Семенюк Наталія – доктор біологічних наук, старший науковий співробітник Інституту гідробіології НАН України (Київ, Україна)

Сидоренко Сергій – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник лабораторії екології лісу, Українського ордена «Знак пошани» науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького Державного агентства лісових ресурсів України та НАН України (Харків, Україна)

Стадниченко Агнеса – доктор біологічних наук, професор кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Стунженас Вірмантас – доктор філософії (біологія і екологія), науковий співробітник лабораторії паразитології Центру дослідження природи Інституту екології (Вільнюс, Литовська Республіка)

Тітов Юрій – доктор хімічних наук, старший науковий співробітник Київського національного університету імені Тараса Шевченка (Київ, Україна)

Томашик Василь – доктор хімічних наук, професор Інституту фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України (Київ, Україна)

Хом'як Іван – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Чайка Микола – кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Чехній Віктор – кандидат географічних наук, старший науковий співробітник, учений секретар Інституту географії НАН України (Київ, Україна)

Чумак Володимир – кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Наукове періодичне видання

Український журнал природничих наук: науковий журнал / [гол. ред. Овчаренко Микола,
відп. ред. Шелюк Юлія]. Житомир: 2025. № 13. 432 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.

Підписано до друку 15.10.2025 р. Формат 60x90/8. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 50,22. Тираж 300. Замовлення 1025/778

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, 2025

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

Ukrainian Journal of Natural Sciences

№ 13

Scientific journal,
founded in 2022



Publishing House
"Helvetica"
2025

*Approved for publication by the Academic Council of Zhytomyr Ivan Franko State University
(protocol № 18 dated from 26.09.2025).*

Editor-in-chief

Ovcharenko Mykola – Doctor habilitatus of Sciences (Biology), Senior Researcher, Professor of Institute of Biology and Earth Sciences Pomeranian University in Słupsk (Słupsk, Republic of Poland)

Co-editor-in-chief

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

Executive Secretary

Patsyuk Maryna – PhD (Biology), Associate Professor of Department of Botany, Biological Resources and Conservation of Biological Diversity Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Members of the Editorial Board

Atasaral Şebnem – Doctor Sciences in Fisheries Technology Engineering, Assistant Professor of the Department of Fisheries Technology Engineering of Karadeniz Technical University (Trabzon, Turkey)

Boymurodov Husniddin – Doctor of Sciences (Biology), Professor of Biotechnology Department of Samarkand Institute of Veterinary and Medicine (Samarkand, Uzbekistan Republic)

Vlasenko Ruslana – PhD (Biology), Associate Professor of the Department of Ecology and Geography Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Volovyk Volodymyr – Doctor of Sciences (Geography), Professor of the Department of Geography Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi Pedagogical University (Vinnytsia, Ukraine)

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

Zhovnerchuk Olga – PhD (Biology), Senior Researcher of I. I. Schmalhausen Institute of Zoology NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

Zajac Tadeusz – PhD (Biology), Professor of the Institute of Nature Conservation of the Polish Academy of Sciences (Krakow, Poland)

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

Kychkyruk Olga – PhD (Chemistry), Associate Professor of the Department of Chemistry Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Korniichuk Nataliia – PhD (Biology), Associate Professor of Department of Medical and Biological Bases of Physical Education and Sport Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Kryvenko Anna – Doctor of Sciences (Agricultural), Professor, Head of the Department of Plant Protection, Genetics and Breeding, Odessa State Agrarian University (Odesa, Ukraine)

Kusiak Nataliia – PhD (Chemistry), Associate Professor of the Department of Chemistry Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Kyurchev Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University (Melitopol, Ukraine)

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

Lystvan Vitalii – PhD (Chemistry), Associate Professor of the Department of Chemistry Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Marchenko Tetiana – Doctor of Sciences (Agricultural), Senior Researcher, Head of the Department of Crop Breeding, Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (Odesa, Ukraine)

Mishchenko Serhii – Doctor of Sciences (Agricultural), Senior Researcher, Associate Professor at the Department of Biology, Human Health and Teaching Methods. Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University (Hlukhiv, Ukraine)

Mudrak Halyna – PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Protection, Vinnytsia National Agrarian University (Vinnytsia, Ukraine)

Nesterchuk Inna – PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Ecology and Geography Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Oksentiuk Yaroslava – PhD (Biology), Senior Lecturer of Department of Medical and Biological Bases of Physical Education and Sport Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Ostrovsky Iliia – PhD (Aquatic Biology/Limnology), Professor, Senior Scientist of Israel Oceanographic and Limnological Research, Yigal Allon Kinneret Limnological Laboratory (Haifa, Israel)

Piliarska Olena – PhD (Agricultural), Senior Researcher, Head of the Department of Marketing and International Activities, Institute of Climate-Smart Agriculture, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (Odesa, Ukraine)

Semenyuk Nataliia – Doctor of Sciences (Biology), Senior Researcher of Institute of Hydrobiology NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

Sydorenko Serhii – PhD (Agricultural), Senior Researcher Laboratory of Forest Ecology, Ukrainian order “Sign of Honour” Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky State Forest Resources Agency of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine (Kharkiv, Ukraine)

Stadnychenko Agnesa – Doctor of Sciences (Biology), Professor of Department of Zoology, Biological Monitoring and Nature Conservation Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Stunžėnas Virmantas – PhD (Biology and Ecology), Senior researcher of Parasitology laboratory of the Nature Research Centre of the Institute of Ecology (Vilnius, Lithuania)

Titov Yuriy – Doctor of Sciences (Chemistry), Senior Research at Taras Shevchenko National University (Kyiv, Ukraine)

Tomashyk Vasyl – Doctor of Sciences (Chemistry), Professor of Lashkariov Institute of Semiconductor Physics, NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

Khomyak Ivan – PhD (Biology), Associate Professor of the Department of Ecology and Geography Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Chayka Mykola – PhD (Chemistry), Associate Professor of the Department of Chemistry Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Chekhnii Viktor – PhD (Geography), Senior Researcher, Scientific Secretary of the Institute of Geography of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

Chumak Volodymyr – PhD (Chemistry), Associate Professor of the Department of Chemistry Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Scientific Periodical

Ukrainian Journal of Natural Sciences / [editor Ovcharenko Mykola, co-editor-in-chief Sheliuk Yuliia].
Zhytomyr: 2025. № 13. 432 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.

Signed for printing 15.10.2025. Size 60x90/8. Offset Paper. Font Times New Roman
Risograph printing. Conventional printed sheets 50,22. Number of copies 300. Order 1025/778

Publishing House "Helvetica" 65101,
Ukraine, Odessa, 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, 2025



БІОЛОГІЯ

UDC 582.3/.99-047.44:[77.03:629.783](210.7)(477.64.25)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.1>

ASSESSMENT OF VEGETATION IN THE RAVINES OF KHORTYTSIA ISLAND (ZAPORIZHZHYA) USING LANDSAT SATELLITE DATA

A. V. Denysenko¹, V. P. Bessonova², S. O. Yakovlieva-Nosar³

This work highlights the issues of prompt detection of changes in vegetation density of small forests in steppe ravines, which belong to the recreational zone of Zaporizhzhya city, using Landsat 8 satellite multispectral images in the time range. The results of changes in the density of woody and herbaceous plants using the normalized difference vegetation index (NDVI) are presented. The main advantage of NDVI is the reliability and ease of data acquisition, as well as a wide range of tasks that can be solved using it. A series of thematic maps was obtained for the years 2000, 2010, 2020, 2024. Based on the values of the NDVI index, several classes of dense, moderate and sparse vegetation were distinguished within each ravine forest. Forest ravines also feature some areas with exposed soil. The dynamics of vegetation changes over the years of research have been examined. Temporal changes of the relative area occupied by woody vegetation and the state of this type of vegetation were also assessed. The multidirectional nature of their changes has been established both within a particular ravine and when compared to the parameters of various other ravines over the course of our research. This is due to the influence of many exo- and endodynamic environmental factors. The coastal part of Khortytsia Island has undergone drainage due to the destruction of the dam of the Kakhovka HPP, which led to an increase in the length of the coastline and the area of the mouth of the ravines under study. As was established via the satellite images in 2024 that, compared to 2020, the area of the coastal zone of the analyzed ravines increased by at least a factor of 1.75 (Heneralka) and at most 3.4 (Shyroka) respectively. The magnitude of this indicator for the remaining ravines falls within the aforementioned range of values. It is recommended to continuously monitor changes in the coast of Khortytsia Island in terms of its succession processes and the state of hydrobionts.

Key words: ravine forests, satellite images, NDVI, density and the state of woody vegetation, coastal area⁴.

¹ Doctor of Philosophy in Ecology,
Deputy Director for Educational Work of the Scientific Lyceum of the Municipal Institution
of Higher Education (Municipal Institution of Higher Education “Khortytsia National Educational
and Rehabilitational Academy” of Zaporizhzhia Regional Council, Zaporizhzhya)
e-mail: osvita.610@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4954-5007

² Doctor of Biological Sciences, Professor at the Department of Gardening and Landscape Design
(Dnipro State Agrarian and Economical University, Dnipro)
e-mail: valentinabessonova492@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4310-0971

³ PhD in Biological Sciences, Associate Professor at the Department of Landscape Gardening
(Municipal Institution of Higher Education “Khortytsia National Educational and Rehabilitational
Academy” of Zaporizhzhia Regional Council, Zaporizhzhya)
e-mail: krokus17.zp@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0935-0483

ОЦІНКА РОСЛИННОСТІ БАЛОК О. ХОРТИЦЯ (М. ЗАПОРІЖЖЯ) З ВИКОРИСТАННЯМ ДАНИХ СУПУТНИКА LANDSAT

А. В. Денисенко, В. П. Бессонова, С. О. Яковлева-Носарь

У роботі висвітлено питання оперативного виявлення змін густоти рослинності байрачних лісів, що входять до рекреаційної зони м. Запоріжжя, за допомогою багатоспектральних знімків супутників Landsat 8 у часовому діапазоні. Наведено результати змін густоти деревних і трав'яних рослин із використанням нормалізованого відносного індексу рослинності (NDVI). Головною перевагою NDVI є надійність і легкість отримання даних, а також широкий діапазон задач, що вирішуються за їх використання. Було отримано серію тематичних карт за 2000, 2010, 2020, 2024 роки. На основі величин індексу NDVI виділено по декілька класів густої, помірної та розрідженої рослинності в межах кожного байраку. На території балок також є відкритий ґрунт. Розглянуто динаміку змін рослинності за роками досліджень. Також оцінювалися зміни в часі відносної площі, що зайнята деревною рослинністю, та стану цього типу рослинності. Встановлено різноспрямований характер їх змін як у межах певної балки, так і за порівняння показників різних балок за роками досліджень. Це пов'язано із впливом багатьох екзо- й ендодинамічних екологічних факторів. Стан деревної рослинності визначається у всі роки дослідження як добрий та задовільний. Узбережна частина острова Хортиця зазнала осушення внаслідок руйнування греблі Каховської ГЕС, що призвело до збільшення протяжності берегової лінії та площі гирла досліджених балок. Як було встановлено на космічних знімках 2024 р., порівняно з 2020 р., площа узбережної зони проаналізованих балок збільшилася від 1,75 (Генералка) до 3,4 (Широка) рази. Величина даного показника решти балок потрапляє в цей діапазон значень. Рекомендовано здійснювати постійний моніторинг змін узбережжя острова Хортиця щодо його сукцесійних процесів та стану гідробіонтів.

Ключові слова: байрачні ліси, космічні знімки, індекс NDVI, густина і стан деревної рослинності, прибережна зона.

Introduction

Under the conditions of the treeless steppe, pockets of natural woody phytocenoses are formed in river valleys, in the foothills, in the gullies and watershed ravines. Ravine forests being one such example is confined to the gully biocenoses and with regard to the steppe zone of Ukraine they are considered an atypical, unique phenomenon. The importance of ravine forests within the ecosystem is multifaceted: they protect the soil, fulfill various sanitary and hygienic functions and act as a shelter for many species of flora and fauna, among which there are a number of endangered ones. At the same time, ravine forests are influenced by both endogenous and exogenous factors. Among the latter, global environmental changes and the anthropogenic factor play a particularly significant role. In particular, human activity often takes place in the ravines at the island of Khortytsia, which is part of the recreational area of the city of Zaporizhzhya and is a favorite location for recreation for both locals and tourists alike. In this regard, it is important to regularly monitor the state of the vegetation and regularly update data in order to preserve biodiversity.

As for the changes of climate indicators in Ukraine, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), analyzing the A1B

scenario (moderate expected temperature increase with decreasing precipitation), predicts significant warming and aridification, as well as a shift in the boundaries of moisture and heat supply zones in the north-west direction. I.F. Buksha et al. (2017) believe that even in the case when a moderate version of this rather harsh scenario unfolds, there is a high probability of species impoverishment, degradation and death of entire ecosystems over a significant area with regard to forest plantations in the steppe and southern forest-steppe zones (Букша та ін., 2017).

Given the above challenges, the use of monitoring systems and the introduction of modern information technologies for the purposes of collecting and analyzing information, especially remote sensing techniques, are of particular relevance. This is emphasized by many scientists, in particular P. Liu et al. (2023) who published a review that includes a literary analysis of eight different articles, the results of which demonstrate the latest research regarding the state of forests, surface waters, air pollution, soil degradation etc. The authors emphasize the importance of such data in making informed decisions to ensure sustainable environmental management (Liu et al., 2023).

Remote sensing data and geographic information systems have been successfully used

to assess magnitudes of forest fires and their consequences. For example, S. Liu et al. (2020) note the need to use the capabilities of satellite imagery in order to determine the scale of burnt out areas. The researchers propose a new approach to detect fire-affected areas based on the fire index using Landsat-8 OLI data. Compared to eight index-based detection methods described in the literature (NDVI, GEMI, NBR, BAI, NDSWIR, MIRBI, NBRT, NSTV2), the proposed approach (NBRSWIR CD method) has the best performance in terms of class separation and accuracy (Liu et al., 2020).

O. Soydan (2024), using Landsat-8 OLI satellite images of the study area before and after the forest fire that broke out on Mount Yamanlar in Karşıyaka district on August 15, 2024, established its level of propagation over a significant area, including residential areas. To estimate the area of burned sites, the author used several spectral indices, including NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NBR (Normalized Burn Ratio), dNBR (Differenced Normalized Burn Ratio). According to the results of the comparative analysis, among the selected indices, it was determined that dNDVI is the index with which the area of burned forest can be determined with the highest accuracy. In this case, the resolution of the satellite image used is of grave importance (Soydan, 2024).

It is also advisable to use satellite images when assessing anthropogenic impact on artificial and natural plant communities and while studying biodiversity of vegetation as well as its biomass.

P. Mallegowda et al. (2015) aimed to create detailed time-dependent maps of the Western Ghats Mountain Landscape Reserve using the NDVI index. The reserve is surrounded by other protected areas and forms forest corridors within the biosphere reserve. Over the past four decades, the area has experienced increased anthropogenic impacts (human settlement, mining, livestock grazing and forest fires) combined with drought and the invasion of *Lantana camara*. The researchers concluded that since vegetation structure is very important for the formation of animal communities, NDVI-based models can play an important role in the conservation of natural forests, especially in the case of the introduction of alien plant species (Mallegowda et al., 2015).

N. Pettorelli et al. (2014) in their review article emphasize the importance of synergistic interaction between remote sensing specialists and ecologists in solving biodiversity conservation problems (Pettorelli et al., 2014).

Therefore, a long-term remote sensing approach based on NDVI index time series serves as an effective tool for detecting landscape changes.

Material and methods

The dynamics of changes in the density of vegetation of the ravines under study were assessed using remote sensing (RS) methods. A series of Landsat 8 satellite images were collected in the time range for the years 2000–2024, namely: 09.14.2000; 09.26.2010; 09.23.2020; 09.22.2024. The selection of images was carried out according to the criteria of minimal cloudiness and absence of smoke. All scenes that were taken for analysis characterized the state of vegetation in the second and third 10-day intervals of September for each of the years that were examined.

Since we have used images of medium spatial resolution, the area of one scene can significantly exceed the region of interest, i.e. the area of the ravine. Therefore, for the purposes of further study, all the images were “cropped” to the desired area polygon by polygon.

In this way, a series of thematic maps for the years 2000, 2010, 2020, 2024 were obtained based on the values of the normalized difference vegetation index (NDVI). For each of them, based on the frequency histograms of the distribution of NDVI values, the areas of green plantations within the city of Zaporizhzhya were determined, as well as the percentage of areas of plots that differ in plant density in each territory under study.

The NDVI index of the vegetation of the ravine forests in the vicinity of the city of Zaporizhzhya was calculated using the following formula:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

where NIR is the reflectance in the near infrared region of the spectrum, RED is the reflectance in the red region of the spectrum. Due to the peculiarities of reflection in the NIR-RED regions of the spectrum, natural objects have fixed NDVI values, which allows using this parameter for their identification and assessment of their condition.

V.I. Lyalko et al. (2008) created a scale of NDVI index values for land cover identification, in which 0.2–0.3 correspond to grassy vegetation, and values of 0.4–0.6 correspond to deciduous tree stands (Лялько та ін., 2008).

I.G. Semenova (2014) proposed using the following scale to assess the state of vegetation (Table 1) (Семенова, 2014):

Table 1
Criteria for classifying vegetation status using NDVI values

NDVI values	State of vegetation
0,71–1,00	Very good
0,56–0,70	Good
0,41–0,55	Satisfactory
0,31–0,40	Bad
0,21–0,30	Stunted

The recommendations of the above-mentioned authors were used by us to identify the types of vegetation and assess their condition in the territory of the ravine forests under study.

Results

The distribution of vegetation in the Heneralka gully according to a corresponding year (2000, 2010, 2020 and 2024) is presented in Fig. 1. In the year 2000, more than half of it was covered by moderate vegetation – 57.28%. After 10 years, in 2020, a decrease down to 52.43% was observed. With regard to the NDVI values, this occurs in the range of 0.5-0.6, which is classified as dense vegetation (Table 2). In 2020, the size of the territory occupied by moderate vegetation changes little (54.97%), but after 4 years (2024) there was a significant reduction down to 43.98% in the range of values from 0.4 to 0.5. The area with sparse vegetation, on the contrary, increased by 4.85% in 2010 compared to 2000 and, subsequently (in 2020), an expansion of the area

with this type of vegetation was observed (up to 43.46%), reaching 47.12% in 2024. Moreover, the increase in areas of sparse vegetation was due to changes in the range of values from 0.3 to 0.4. In general, the difference between the indicators of 2000 and 2024 is 10.23%.

Dense vegetation in 2000 and 2010 was absent and during 2020 only a very a small part of it was present (0.04 ha), which in 2024 increased up to 0.35 ha (5.24%). The figures characterizing the size of open soil areas in 2010, compared to 2000, did not change (5.82%). In 2020, they decreased to 1.05%, which indicates some activation of overgrowth processes. However, in 2024, the area without plants increased again and amounted to 3.66%.

Therefore, moderate vegetation prevailed in the Heneralka gully during the years of our research.

In 2000, the main portion of the vegetation cover of the Khortyts'ka ravine (Fig. 2, Table 3) belonged to the class of sparse vegetation – 76.47%. In 2010, the size of its area practically did not change and reached 77.77%. However, according to 2020 data, the share of vegetation of this category decreased compared to 2010 by 24.87%. Subsequently, a significant decrease in the area with sparse vegetation occurred in 2024 compared to 2020 – from 52.90 to 43.00%, i.e. by 9.9%.

The areas of moderate vegetation, as well as sparse vegetation, were almost the same in 2010 compared to 2000. However, in 2020, a significant expansion of the area with this

Table 2
NDVI values for the Heneralka gully

Class	Class name	Range of values	Relative area								
			2000		2010		2020		2024		
			ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	
1	Dense vegetation	0.9 – 1	0								
2	Dense vegetation	0.8 – 0.9	0								
3	Dense vegetation	0.7 – 0.8	0								
4	Dense vegetation	0.6 – 0,7	0				0,04	0,52	0,35	5,24	
5	Moderate vegetation	0,5 – 0,6	1,70	25,24	1,25	18,45	1,38	20,42	1,27	18,85	
6	Moderate vegetation	0,4 – 0,5	2,16	32,04	2,29	33,98	2,33	34,55	1,70	25,13	
7	Sparse vegetation	0,3 – 0,4	1,70	25,24	1,70	25,24	1,98	29,32	2,58	38,22	
8	Sparse vegetation	0,2 – 0,3	0,79	11,65	1,11	16,50	0,95	14,14	0,60	8,90	
9	Bare soil	0,1 – 0,2	0,07	0,97	0,13	1,94	0,07	1,05	0,21	3,14	
10	No vegetation	0,0 – 0,1	0,13	1,94	0,07	0,97	0	0	0,04	0,52	
11	No vegetation	-1 – 0,0	0,20	2,91	0,20	2,91	0	0	0	0	

Source: developed by the authors

Table 3

NDVI values for the Khortyts'ka ravine

Class	Class name	Range of values	Relative area							
			2000		2010		2020		2024	
			ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
1	Dense vegetation	0,9 – 1								
2	Dense vegetation	0,8 – 0,9								
3	Dense vegetation	0,7 – 0,8								
4	Dense vegetation	0,6 – 0,7							0,69	6,48
5	Moderate vegetation	0,5 – 0,6	0		0,07	0,65	1,52	14,33	2,46	23,21
6	Moderate vegetation	0,4 – 0,5	1,39	13,07	1,39	13,07	3,00	28,33	2,75	25,94
7	Sparse vegetation	0,3 – 0,4	5,34	50,33	4,51	42,48	2,37	31,74	3,15	29,69
8	Sparse vegetation	0,2 – 0,3	2,77	26,14	3,74	35,29	2,24	21,16	1,41	13,31
9	Bare soil	0,1 – 0,2	0,55	5,23	0,49	4,58	0,22	2,05	0,14	1,37
10	No vegetation	0,0 – 0,1	0,14	1,31	0,14	1,31	0,11	1,02	0	
11	No vegetation	-1 – 0,0	0,42	3,92	0,28	2,61	0,14	1,37	0	

Source: developed by the authors

Table 4

NDVI values for the Shyroka gully

Class	Class name	Range of values	Relative area							
			2000		2010		2020		2024	
			ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
1	Dense vegetation	0,9 – 1								
2	Dense vegetation	0,8 – 0,9								
3	Dense vegetation	0,7 – 0,8								
4	Dense vegetation	0,6 – 0,7	0,26	1,69	0,13	0,84	0	0	0,71	4,56
5	Moderate vegetation	0,5 – 0,6	3,87	24,89	3,34	21,52	2,69	17,31	3,75	24,15
6	Moderate vegetation	0,4 – 0,5	5,97	38,40	5,64	36,29	7,05	45,33	3,54	22,78
7	Sparse vegetation	0,3 – 0,4	3,93	25,32	4,53	29,11	4,39	28,25	3,97	25,51
8	Sparse vegetation	0,2 – 0,3	1,31	8,44	1,44	9,28	1,38	8,88	3,22	20,73
9	Bare soil	0,1 – 0,2	0,20	1,27	0,46	2,95	0,04	0,23	0,35	2,28
10	No vegetation	0,0 – 0,1								
11	No vegetation	-1 – 0,0								

Source: developed by the authors

type of vegetation was recorded (42.66%, i.e. 3.11-fold).

In 2024, the area occupied by moderate vegetation increased even further and amounted to 49.15% against the background of the recorded decrease in the area occupied by sparse vegetation. It should be noted that dense vegetation appeared during this period, the share of which was 6.48%.

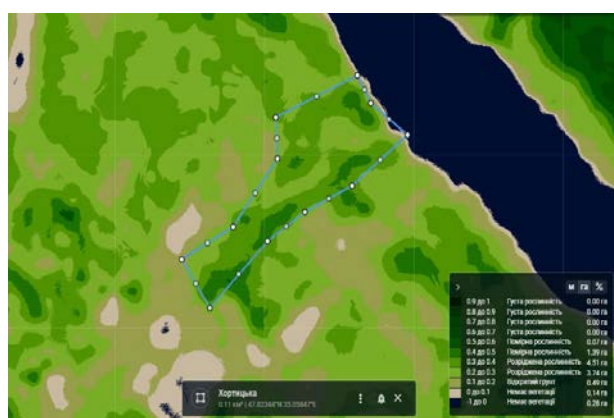
Thus, there is an apparent absence of changes in the proportions of moderate and sparse vegetation in 2010 compared to 2000. During other years of study, satellite imagery data indicates a densification of the vegetation cover of the Khortyts'ka ravine.

Changes in vegetation density in the Shyroka gully are presented in Table 4 and Fig. 3.

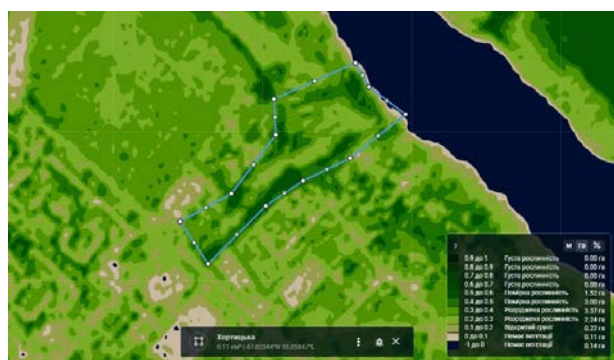
In 2000, the area of moderate vegetation occupied 63.29%, which indicates its major role in the overall relative density of vegetation cover. In 2010, it was 57.81%, i.e. there was a reduction of 5.48%. According to the indicators of 2020, the share of vegetation of this category increased again back to 62.64%, which indicates its return to the indicators of the year 2000. However, during the period until 2024, the area of moderate vegetation decreased down to 49.93%.



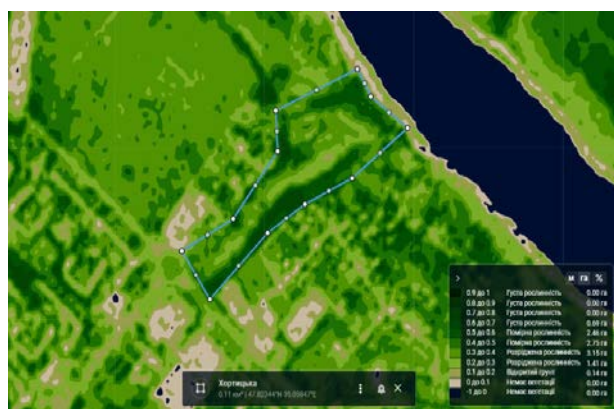
14.09.2000



26.09.2010



23.09.2020



22.09.2024

Fig. 2. Vegetation density of the Khortyts'ka ravine, determined using the NDVI vegetation index has increased significantly – up to 46.24%, equaling the values recorded for moderate vegetation during the same period. As for the dense vegetation, its share in the cover of the Shyroka gully was determined to be small. In the images pertaining to the year 2020, dense vegetation is completely absent, and its largest share was established in 2024 – 4.56%.



14.09.2000



26.09.2010



23.09.2020



22.09.2024

Fig. 3. Vegetation density of the Shyroka gully, determined using the NDVI vegetation index

Open ground areas are small. In 2000, their area was 1.27%, increasing to 2.95% in 2010, with a subsequent decline to 0.23% in 2020 and a new increase to 2.28% in 2024. This points to undulating patterns in the changes of their area.

Moderate vegetation prevails in the Shyroka gully. Over the years of study, the nature of changes in the size of the territories occupied by this category of vegetation can be described as multidirectional. Among the living cover in this gully, the share of dense vegetation is

the smallest, while its largest indicators were determined in 2024.

At the beginning of the study (2000), the predominant share of the cover of the Hannivka gully was moderate vegetation (77.97%) (Table 5, Fig. 4). According to 2010 data, it changed very little – up to 79.66%. 10 years later, in 2020, the area of moderate vegetation decreased by 6.16%, and after another 4 years it increased again to the values of 2010 and amounted to 77.78%. Thus, during the years of our study, moderate vegetation was dominant in the territory of this gully, which indicates the predominance of vegetation of medium density. The predominance of values in the ranges of 0.5–0.6 was observed, with the exception of 2020 (Table 4). No cardinal changes in the size of the area occupied by this category of vegetation over the years of observation were recorded.

The area of sparse vegetation was much smaller compared to the moderate category. Thus, in 2000 it was only 8.47%, and in 2010 the share of vegetation of this category decreased to 5.08% (by 3.39%). This was due to an increase in the area of moderate (by 1.69%) and dense (by 1.69%) vegetation. In 2020, the size of sparse vegetation areas increased significantly compared to 2010 data – up to 16.24%, and after 4 years (in 2024) they decreased slightly and reached 11.11%. Thus, there is a fluctuation in the size of areas occupied by sparse vegetation over the years of research.

In 2000, dense cover occupied 3.39% of the territory of the Hannivka gully, and in 2010 – 5.08%. According to 2020 data, this category of vegetation has completely disappeared. After another 4 years (2024), its share has recovered

almost to the values of 2010 and amounted to 5.98%. This indicates the limited number of areas with dense vegetation cover and their instability over time which results in their disappearance with subsequent restoration. The size of the area without plants did not change over the years of research, and equalled 10.16% in the years 2000, 2010 and 10.26% in 2020. But in 2024, the area of open soil decreased to 5.12%.

Thus, in the Hannivka gully moderate vegetation prevailed during the period from 2000 to 2024. Along with this, certain fluctuations in its area occurred during various years of study, which is why unidirectional changes were not observed. Fluctuating waves in terms of area also affected sparse vegetation category. Dense vegetation cover increased only in small areas of the ravine.

In the Ushvyva gully, according to 2000 data, moderate vegetation occupied 26.02% of the area, while in 2010 its increase to 34.96% was observed (Table 6, Fig. 5). In 2020, the share of vegetation of this category increased to 40.17%. The expansion of its territory compared to 2000 was 14.15%, and compared to 2010 – 5.21%. In 2024, there were no changes in values compared to 2020. In general, from 2000 to 2020, a trend of growth in the area of vegetation of this category was observed.

The predominant part of the cover of the Ushvyva gully in 2000 was sparse vegetation – 45.53%. In 2010, its area decreased and amounted to 39.02%. However, during the next measurement period (2020), its share increased by 8.75% and reached 47.77%, increasing to 50.0% in 2024.

The presence of dense vegetation in this gully was determined based on the 2020 sat-

Table 5

NDVI values for the Hannivka gully

Class	Class name	Range of values	Relative area								
			2000		2010		2020		2024		
			ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	
1	Dense vegetation	0,9 – 1									
2	Dense vegetation	0,8 – 0,9									
3	Dense vegetation	0,7 – 0,8									
4	Dense vegetation	0,6 – 0,7	0,13	3,39	0,20	5,08			0,24	5,98	
5	Moderate vegetation	0,5 – 0,6	2,00	50,85	2,07	52,54	1,01	25,64	2,02	51,28	
6	Moderate vegetation	0,4 – 0,5	1,07	27,12	1,07	27,12	1,88	47,86	1,04	26,50	
7	Sparse vegetation	0,3 – 0,4	0,27	6,78	0,13	3,39	0,50	12,82	0,34	8,55	
8	Sparse vegetation	0,2 – 0,3	0,07	1,69	0,07	1,69	0,13	3,42	0,10	2,56	
9	Bare soil	0,1 – 0,2	0,07	1,69	0,07	1,69	0	0	0,17	4,27	
10	No vegetation	0,0 – 0,1	0,13	3,39	0,13	3,39	0,07	1,71	0,03	0,85	
11	No vegetation	-1 – 0,0	0,20	5,08	0,20	5,08	0,34	8,55	0	0	

Source: developed by the authors

Table 6

NDVI values for the Ushvyva gully

Class	Class name	Range of values	Relative area								
			2000		2010		2020		2024		
			ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	
1	Dense vegetation	0,9 – 1									
2	Dense vegetation	0,8 – 0,9									
3	Dense vegetation	0,7 – 0,8									
4	Dense vegetation	0,6 – 0,7			0,13	1,63					
5	Moderate vegetation	0,5 – 0,6	0,46	5,69	0,98	12,20	0,36	4,46	0,25	3,12	
6	Moderate vegetation	0,4 – 0,5	1,63	20,33	1,82	22,76	2,86	35,71	2,97	37,05	
7	Sparse vegetation	0,3 – 0,4	1,76	21,95	1,76	21,95	2,72	33,93	2,89	36,16	
8	Sparse vegetation	0,2 – 0,3	1,89	23,58	1,37	17,07	1,11	13,84	1,11	13,84	
9	Bare soil	0,1 – 0,2	0,78	9,76	0,59	7,32	0,18	2,23	0,54	6,70	
10	No vegetation	0,0 – 0,1	0,26	3,25	0,39	4,88	0,32	4,02	0,18	2,23	
11	No vegetation	-1 – 0,0	1,24	15,45	0,98	12,20	0,46	5,80	0,07	0,89	

Source: developed by the authors

Table 7

NDVI values for the Velyka Molodnyaga gully

Class	Class name	Range of values	Relative area								
			2000		2010		2020		2024		
			ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	
1	Dense vegetation	0,9 – 1									
2	Dense vegetation	0,8 – 0,9									
3	Dense vegetation	0,7 – 0,8					0,03	0,97			
4	Dense vegetation	0,6 – 0,7	0,12	3,51	0,41	12,28	1,77	52,43	0,03	0,97	
5	Moderate vegetation	0,5 – 0,6	1,36	40,35	1,66	49,12	1,18	34,95	1,01	30,10	
6	Moderate vegetation	0,4 – 0,5	1,01	29,82	0,59	17,54	0,29	8,74	1,67	49,51	
7	Sparse vegetation	0,3 – 0,4	0,53	15,79	0,35	10,53	0,03	0,97	0,36	10,68	
8	Sparse vegetation	0,2 – 0,3	0,06	1,75	0,12	3,51	0,03	0,97	0,13	3,88	
9	Bare soil	0,1 – 0,2	0,18	5,26	0,12	3,51	0,03	0,97	0,16	4,85	
10	No vegetation	0,0 – 0,1	0	0	0	0	0,03	0,97	0	0	
11	No vegetation	-1 – 0,0	0,12	3,51	0,12	3,51	0	0	0	0	

Source: developed by the authors

ellite images and amounted to only 1.63%, but in 2024 it wholly disappeared. The area of open soil in 2000 was quite large – 28.46%, while in 2020 – 24.40%. Over the following period, areas of soil without vegetation decreased to 12.05% in 2020, and in 2024 – to 9.82%. Thus, compared to 2000, their area decreased by 2.9 times, which indicates the gradual overgrowth of the Ushvyva gully.

As can be seen from Fig. 6 and the data in Table 7, in 2000, the main part of the cover of the Velyka Molodnyaga gully was moderate vegetation – 70.17%. According to the indicators of 2010, its share decreased to 66.66%, but it continued to remain the predominant

category of vegetation cover. By 2020, there was a further more significant reduction in its area to 43.69%.

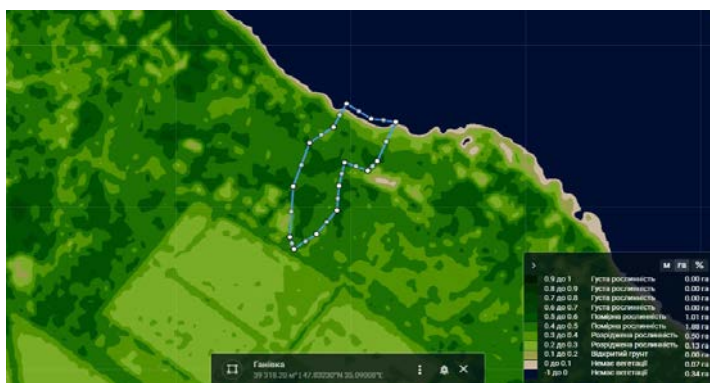
However, as of 2024, moderate vegetation occupied an even larger area compared to the year 2000. That is, the trend towards a decrease in this type of vegetation in the Velyka Molodnyaga gully changed to an increase in this indicator of up to 79.61%. But, if according to the data of 2000, 2010 and 2020, there was more moderate vegetation in the range of NDVI values from 0.5 to 0.6, then in 2024 its share prevailed in the range of values from 0.4 to 0.5, which is closer to being classified as sparse vegetation.



14.09.2000



26.09.2010



23.09.2020

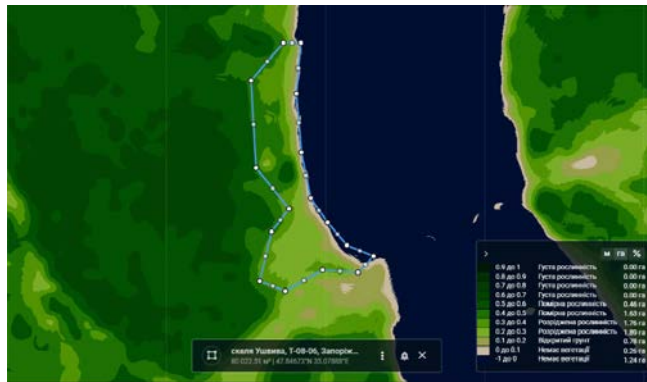


22.09.2024

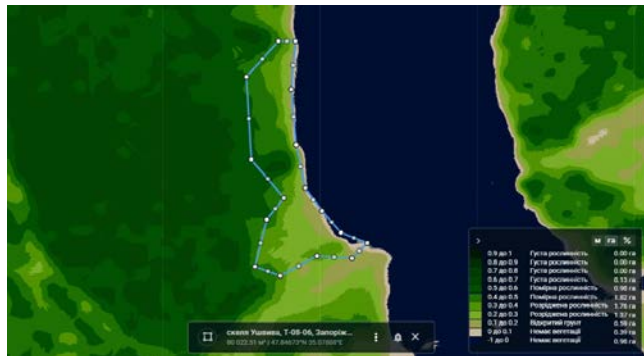
Fig. 4. Vegetation density of the Hannivka gully, determined using the NDVI vegetation index

The area of sparse vegetation cover of this gully was 17.54% at the time of the beginning of the research (2000). At the same time, it was 4 times smaller compared to the area with

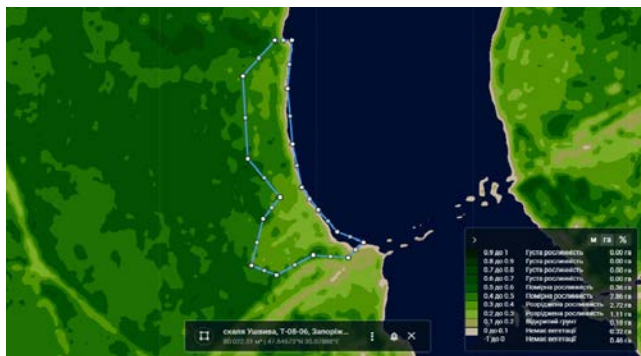
moderate vegetation. By 2010, the share of sparse vegetation cover had slightly decreased (to 14.04%). In 2020, more significant changes occurred, which led to it occupying only 1.94%



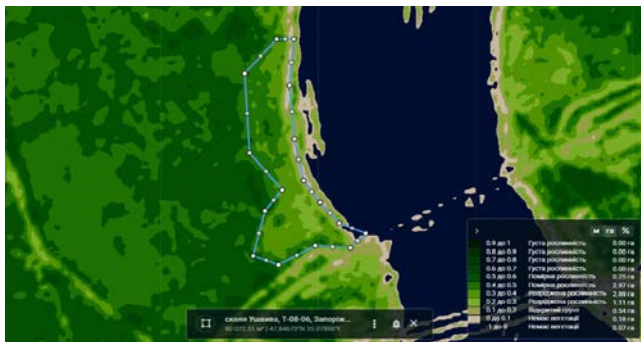
14.09.2000



26.09.2010



23.09.2020



22.09.2024

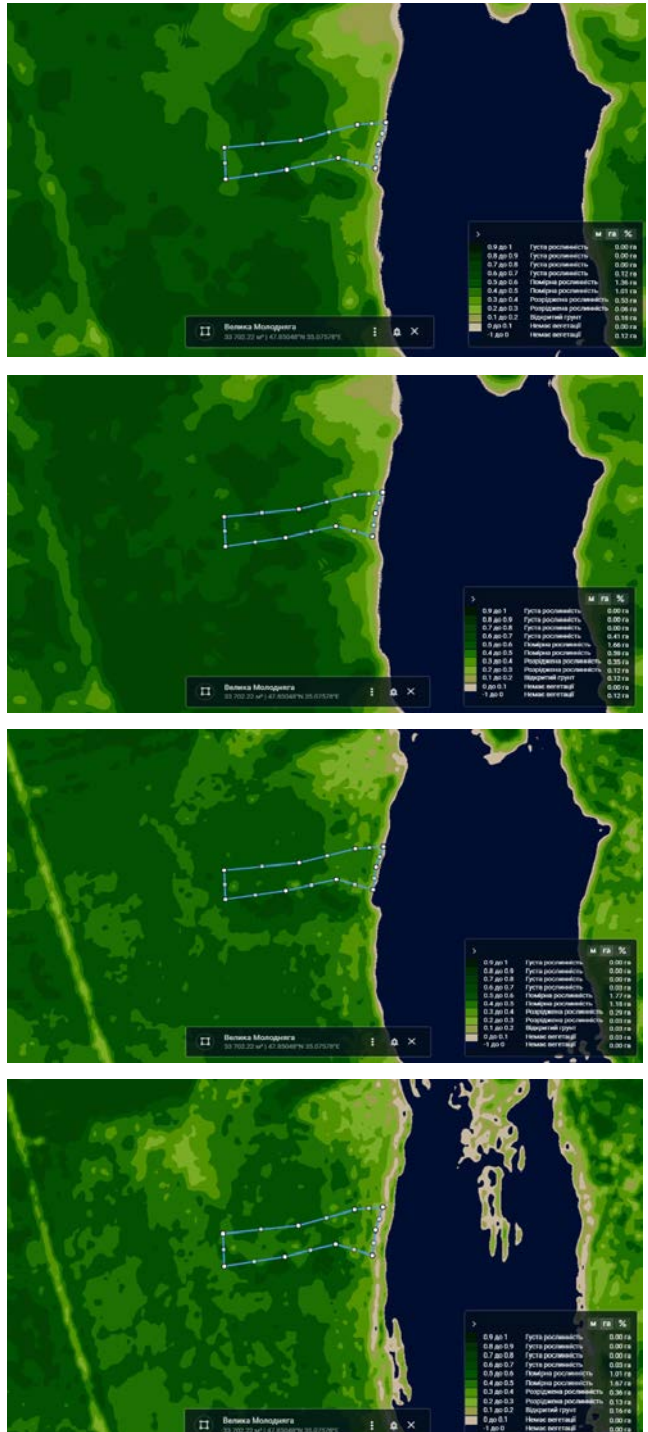
Fig. 5. Vegetation density of the Ushyva gully, determined using the NDVI vegetation index

of the area. However, in 2024, a sharp increase of this indicator of up to 14.56% was recorded (to the level of 2010, in fact), mainly in the 0.3–0.4 range of values, which borders on the values of moderate vegetation category.

In 2000, dense vegetation accounted for the smallest share compared to other vegetation categories in this gully. However, in 2010, a

significant increase to 12.28% was recorded, which was even greater in the year 2020 – 54.40%.

But later this type of vegetation practically disappears: in 2024 it was only 0.97%, which indicates a rapid reduction in the area occupied by vegetation of this category. This is consistent with the expansion of areas with moderate and sparse vegetation.



14.09.2000

26.09.2010

23.09.2020

22.09.2024

Fig. 6. Vegetation density of the Velyka Molodnyaga gully, determined using the NDVI vegetation index

The area of open soil in 2000 was 8.77%. According to NDVI indicators, the share of soil without plants in 2010 decreased to 7.02%, and in 2020 – to 1.94%, although as of 2024 it rebounded to 4.85%.

Thus, in the Velyka Molodnyaga gully, over the years of our research, a reduction in the area of both dominant moderate and sparse

vegetation has been observed. The share of dense cover, on the contrary, is increasing.

According to the data of 2000, the cover of the Sovutina gully was dominated by moderate vegetation, the area of which was 47.89%. In 2010, this type of vegetation continued to dominate, and its share increased to 53.52% of the total surface area of the gully. From this point

on, the process of expansion by this category of vegetation has continued (Table 8, Fig. 7).

According to the indicators of 2020, vegetation density was 69.05%, which indicates an increase in the dominance of medium-density cover. In 2024, the indicator decreased to 41.24%, which is even less than in the year 2000, when it was minimal over the course of our research.

In 2000, sparse vegetation also made up a significant portion of vegetation cover – 40.85%. However, this trend became opposite in the following years. According to the indicators of 2010, it decreased by 4.23% – to 36.62%, and in 2020 – by another 10.43%, down to 26.19%. Its participation in the formation of the vegetation cover of the Sovutina gully during this period was much less pronounced than that of moderate vegetation (2.6 times). This trend continued and in 2024, sparse vegetation amounted to only 10.68%.

If the sizes of areas of dense vegetation during the years of data analysis (2000, 2010 and 2020) were close in values, then in 2024 this indicator increased significantly – to 46.58%. The share of open soil in 2010 did not change compared to 2000 (5.64%), but in 2020 and 2024 its surface was almost completely overgrown with vegetation.

Thus, during the years of research, the cover of the Sovutina gully was dominated by moderate vegetation. The area occupied by the sparse vegetation category, on the contrary, was decreasing. In general, there is a tendency of the increased density of vegetation in the territory of this gully.

For the purposes of identification and stratification of the ground cover of the ravines

under study, we relied on the recommendations of V.I. Lyalko *et al.* (2008). The results of dynamic changes in the relative area of deciduous stands (trees and shrubs) by the years of research are shown in Fig. 8. The same figure also presents data on the variability of the condition of woody plants. According to the scale of I.G. Semenova (2014), the condition of the stands in the analyzed gullies was assessed as good and/or satisfactory throughout the entire research period.

The curve describing the fluctuations of the relative area of woody vegetation in the Heneralka gully has a rather smooth behavior (Fig. 8). At the same time, the value of this indicator acquired values within the range from 57.3% (2000) to 52.4% (2010), and in the year 2020 it equaled 55.5%. In 2024, there is some reduction to 49.2%, which coincides, as already noted, with the expansion of areas with sparse vegetation.

The share of woody plants that had a good condition changed very little (18.5–25.2%). Only in 2010, compared to 2000, it decreased by 6.8%. Woodlands that received a satisfactory assessment were distributed over the territory of 32.0–34.5% during the period 2000–2020. But in 2024, their share decreased to 25.1% and practically equaled the relative area of woody plants in good condition (24.1%).

A completely different situation is observed in the case of the Khortyts'ka ravine. The trend characterizing changes in the area with woody vegetation tends to constantly grow, starting from 13.7% in 2010 and up to 55.6% in 2024. This can be explained by objective reasons: a decrease in recreational load and the accompanying soil compaction and trampling

Table 8

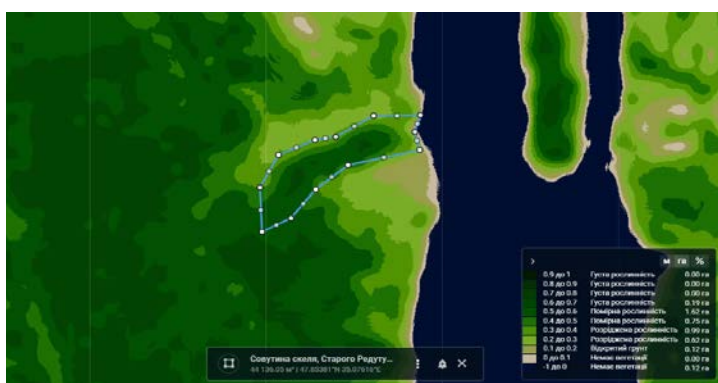
NDVI values for the Sovutina gully

Class	Class name	Range of values	Relative area								
			2000		2010		2020		2024		
			ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	
1	Dense vegetation	0,9 – 1									
2	Dense vegetation	0,8 – 0,9									
3	Dense vegetation	0,7 – 0,8							0,60	12,82	
4	Dense vegetation	0,6 – 0,7	0,25	5,63	0,19	4,23	0,21	4,76	1,58	33,76	
5	Moderate vegetation	0,5 – 0,6	1,24	28,17	1,62	36,62	1,79	40,48	1,26	26,92	
6	Moderate vegetation	0,4 – 0,5	0,87	19,72	0,75	16,90	1,26	28,57	0,67	14,32	
7	Sparse vegetation	0,3 – 0,4	0,87	19,72	0,99	22,54	0,91	20,63	0,25	5,34	
8	Sparse vegetation	0,2 – 0,3	0,93	21,13	0,62	14,08	0,25	5,56	0,25	5,34	
9	Bare soil	0,1 – 0,2	0,06	1,41	0,12	2,82	0	0	0,07	1,49	
10	No vegetation	0,0 – 0,1	0,06	1,41	0	0	0	0	0	0	
11	No vegetation	-1 – 0,0	0,12	2,82	0,12	2,82	0	0	0	0	

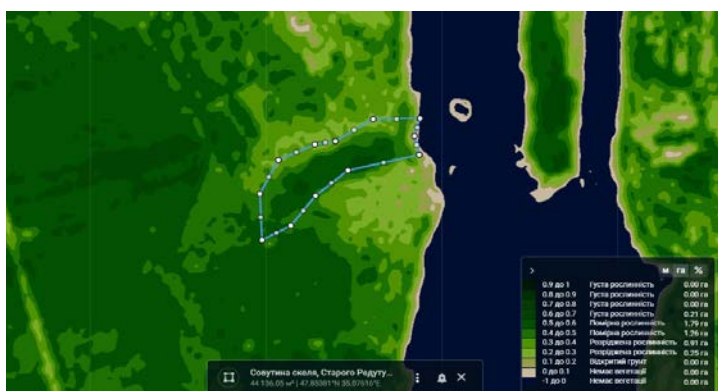
Source: developed by the authors



14.09.2000



26.09.2010



23.09.2020



22.09.2024

Fig. 7. Vegetation density of the Sovutina gully, determined using the NDVI vegetation index

of self-seeding tree species. The improvement in the state of the ravine forest dendroflora is also evidenced by the histograms that contain this indicator.

The direction of changes that occurred during the years of research in the territory of the Shyroka gully is similar to those in the Heneralka gully (Fig. 8). In this gully, the rec-

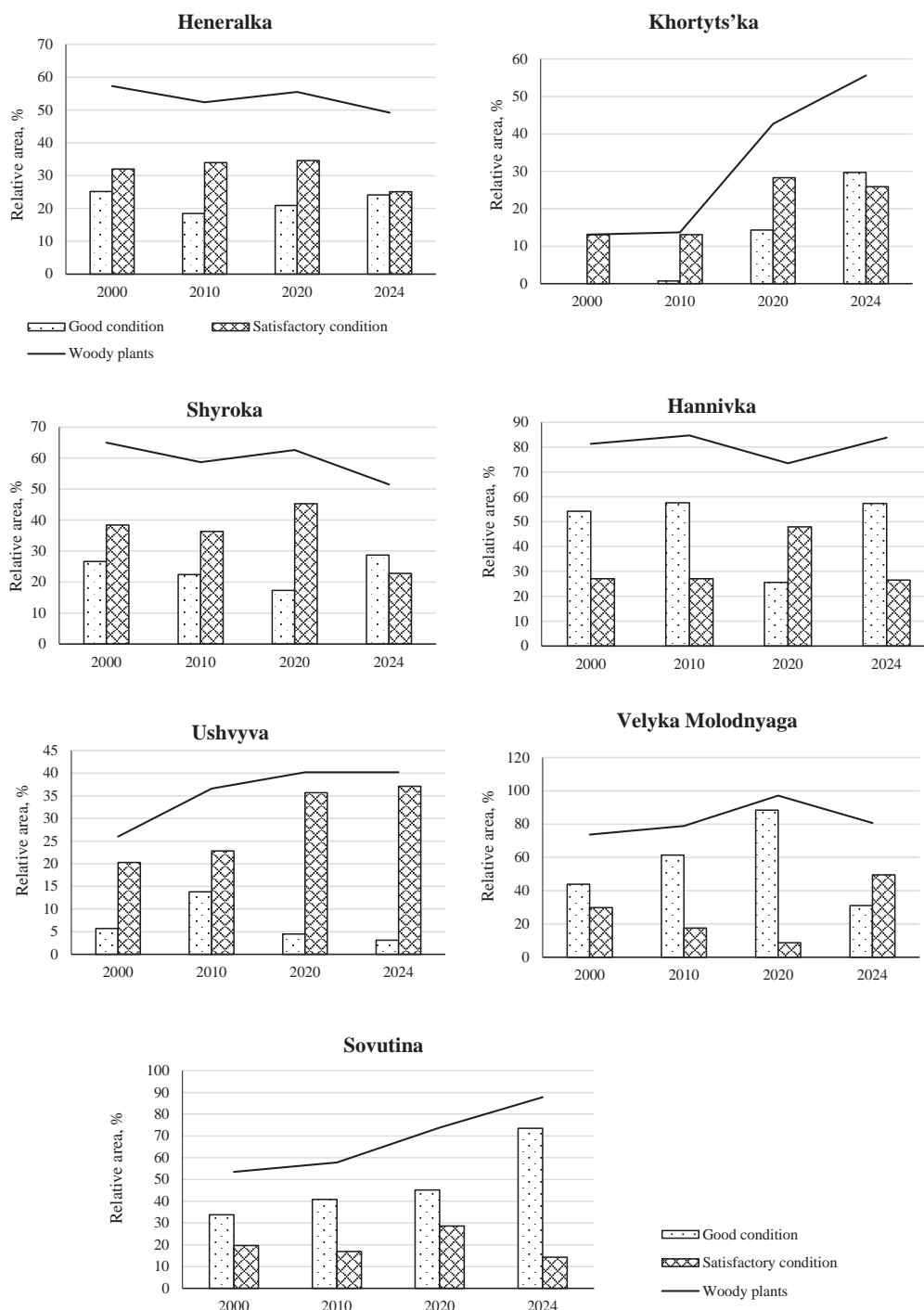


Fig. 8. Changes in the area occupied by woody vegetation in ravine forests and the qualitative condition of trees and shrubs during the years of research

reational load has also decreased in the recent years, primarily by the vacationers of the sanatorium-dispensary of the Zaporizhzhya Titanium-Magnesium Combine (ZTMK PJSC). However, the sandy beach (named “Titan”) at the mouth of the gully is characterized by a rather high degree of attractiveness for visitors, which may be one of the factors in the

decrease in the area occupied by woody and shrub vegetation, especially as pertains to its natural renewal. At the same time, from 2000 to 2020, there is a tendency of the reduction in the share of woody plants in good condition and the increase of the ones whose condition is rated as satisfactory. And in 2024, the areas occupied by plants in both good and satisfac-

tory condition amounted to 28.7 and 22.8%, respectively.

The Hannivka gully has one of the highest indicators of the relative area of woody vegetation among the analyzed gullies (Fig. 8), which fluctuates throughout the study period within the limits of 73.5–84.7%. In 2000, 2010 and 2024, the share of woody plants in a good condition reached 54.2; 57.6 and 57.3%, respectively. The values of the areas with vegetation cover in a satisfactory condition were also very close to each other. However, in 2020, there was a sharp decrease in the share of woody vegetation, the condition of which is assessed as good, and, conversely, an increase in the relative area of plants with a satisfactory condition.

In the Ushvyva gully, there is an expansion of the area occupied by woody plants over the study period. The curve describing this process is smooth. It should be noted that this occurs mainly due to vegetation, the condition of which is assessed as satisfactory. Thus, whereas in 2000 the area of this category of woody plants is 20.3%, in 2024 it reaches 37.1%.

The territory of the Velyka Molodnyaga gully is also characterized by a high indicator of the relative area occupied by woody plants, similar the Hannivka gully. In 2000, it was 73.7%, while in 2010 – 78.9%. In 2020, it increased sharply to 97.1%, and in 2024 it decreased to 80.6%, as has already been noted, due to an increase in the share of sparse vegetation cover.

In the territory of the Sovutyna gully, there is a steady trend towards an expansion of the area under woody vegetation: in 2000 it was 53.5%, while in 2024 it was 87.8% (Fig. 8). This is mainly due to an increase in the share of woody vegetation, the condition of which is assessed as “good”.

Thus, in the studied gullies, multidirectional changes in the relative area occupied by woody vegetation (trees and shrubs) are observed. This indicator is influenced by various factors, among which the recreational activities inside the gullies, their location relative to highways and public transport stops, accessibility and attractiveness of individual areas.

As you probably know, on June 6, 2023, the Russian troops blew up the dam of the Kakhovka hydroelectric power plant, which had huge negative consequences for Ukraine, primarily in the case of the territories located in and around the Dnieper River basin. The satellite images of the gullies that we analyzed,

which were obtained in September 2024, show not only changes in vegetation density, but also in the length of the coastline and the area of their mouths.

In 2020, the area of the mouth of the Heneralka gully was 3,500 m² (sandy/muddy shores), and in 2024 it increased almost 1.75-fold.

Before the water receded, the coastal part of the Khortyts'ka ravine was a relatively narrow strip, mainly rocky and muddy in nature, with an area of about 250 m²; in 2024, it increased threefold.

The coast of Shyroka gully in 2020 was composed of the estuary, where a sandy beach was arranged for visitors to the sanatorium-dispensary owned by the titanium-magnesium plant. The area of the coastal part was 250 m² (excluding the beach). Satellite imagery of 2024 show that its size increased almost 3.4-fold.

The mouth of the Hannivka gully has undergone strong anthropogenic impact, mainly due to the fact that the Scientific Town Str. passes through it. The coastal zone is sandy, overgrown with trees and their descendants of vegetative origin. In 2020, it had an area of about 3750 m², and in 2024 it increased 3.3-fold.

The Ushvyva gully stretches along the Dnieper River, its mouth is raised, as if hanging over the river. In addition to the main one, there are two smaller outlets with small sandy beaches. There are many boulders on the territory of the main mouth, among which there are many large ones. In the 2020 photos, the length of its coastline, interrupted in several places, was over 400 m, and the area was about 5,000 m², while in 2024 the latter increased 2.2-fold.

The area of the coastal part of the Velyka Molodnyaga gully (sandy in nature) in the 2020 images was slightly more than 250 m² but it increased 3.2-fold in 2024.

The mouth of the Sovutyna gully is sandy and rocky. Nearby is the Sovutyna cliff, which was destroyed in the first half of the 20th century due to granite mining. In 2020, the coastal part had an area of about 2000 m², and in 2024 it expanded almost 2.3-fold.

Thus, the area of the coastal zone in the analyzed gullies increased by at least a factor of 1.75 in the case of the Heneralka gully and up to 3.4 times in the case of the Shyroka gully.

Discussion

Assessment of changes in various vegetation classes of the ravine forests under study

according to the magnitude of the NDVI index allowed us to establish the absence of a single pattern in the dynamics of vegetation density, relative area and the condition of woody plants. The direction and intensity of these changes are influenced by a number of factors (location and attractiveness for vacationers, recreational activities, fluctuations in climatic indicators and the success of natural renewal of woody plants). However, the assessment of vegetation dynamics with the help of a series of thematic images using the values of the normalized difference vegetation index (NDVI) proved to be a promising express method, with which it was possible to cover significant areas during monitoring studies.

It should be noted that the works regarding determination of density and vital state of woody plants was also carried out by other authors.

Sh.-T. Wu & Y.-Sh. Chen (2016), who investigated the issue of integrating remote sensing data and vegetation indices, in particular NDVI, concluded that such a combination is appropriate when studying dynamic changes in the ecological environment of recreational areas within national nature parks (Wu & Chen, 2016).

A.V. Sklyarenko & V.P. Bessonova (2020) assessed the density and condition of green plantations in sanitary protection zones of seven industrial enterprises in the city of Zaporizhzhya with the help of Landsat satellite data using the NDVI index. The density of tree plantations varied depending on the intensity of self-reproduction and the degree of human oversight: when filling the territory with self-seeding species as well as planting seedlings manually, an increase in vegetation density was observed, in part due to natural renewal. The act of planting new species had a negligible effect on this indicator. The authors also assessed the condition of vegetation in various green areas of sanitary protection zones, and it was found that only 10% of them can be given a "good" rating (Склярєнко і Бєссонова, 2020).

O.Y. Ivanchenko et al. (2022) studied density dynamics and the condition of vegetation on the territory of major recreational facilities of the right-bank part of the Dnipro city – five parks in total as well as the Tunel'na gully – over a 20-year period with five year long intervals. Landsat satellite data were used. The authors concluded that by the year 2010, the decrease in the density of the tree stands and the deterioration of their condition were

associated with the decline of the aforementioned parks and the lack of care with regard to plants against the background of a critical state of the country's economy. After 2010, the density of woody vegetation increased due to the planting of new seedlings and the growth of their crowns, the spread of self-seeding species as well as undergrowth, all despite a lack of full-fledged agrotechnical oversight on the territory of certain parks (Іванченко та ін., 2022).

As can be seen from Figures 1–7, presented above, the outline and area of the banks of the gullies have significantly changed, which was noted during the analysis of satellite images in 2024. This can be explained by the decrease in the water level of the Dnieper river.

According to the classification given in (Знищення ..., 2025), the coastal zone of the island is classified as the water area of the former Kakhovka reservoir and is considered a drainage zone (Знищення ..., 2025). M.A. Mulyenko (2025), studying the consequences of the destruction of the Kakhovka HPP for the island of Khortytsia, indicates a decrease in the water level of the Dnieper River. At the same time, its absolute values vary from -4.64 m to -1.92 m from the normal support level. The territory of the island increased due to the newly created coasts with an unstable coastal strip (Муленко, 2025).

The process of drainage and increase in the area of the mouth, as already noted above, was observed in the case of all of the gullies under study. At the same time, the area of the coastal zone expanded the least in the case of Heneralka (1.75 times compared to the previous value recorded in 2020) and the most – 3.4 times at the mouth of the Shyroka gully. The changes that affected the remaining gullies and led to an increase in the length of the coastline and the area of their mouths are somewhat smaller and fall within the specified range of values.

Currently, as reported by researchers, in particular S. Kobets & V. Shelegeda (2024), who studied the state of the coast of the right bank of the Dnieper River in the area of the "Vyrva" protected zone, which is a part of the "Khortytsia" national reserve, it is possible to state the course of successional changes in the territories exposed to the outflow of water (Кобець і Шелегеда, 2024).

Therefore, constant monitoring of changes in the coast of the Khortytsia Island regarding its successional processes and the state of hydrobionts is necessary. This issue is of grave

environmental importance, since Khortytsia Island (with the exception for gardens and arable land) is part of the general geological reserve of national importance called “Dnieper Rapids”, which in 2016 was included in the list of objects of the Emerald Network of Ukraine (Охріменко і Ткач, 2019).

Conclusions

Analysis of changes in the density of woody vegetation within seven ravine forests included in the recreational area of the city of Zaporizhzhya over the course of the study period (2000, 2010, 2020, 2024) and their condition using data from the Landsat 8 satellite showed that these indicators are constantly changing. Usually, these changes occur simultaneously with the ones regarding the area of grass vegetation and bare areas.

The assessment of trends in the relative area occupied by woody vegetation indicates their different orientation in the gullies under study. The condition of this type of vegeta-

tion is determined as good and satisfactory throughout the entire research period. The correlation of these condition categories differed even within a particular gully but also when compared with one another according to a corresponding year of the study.

The direction and intensity of changes in the density, relative area and condition of woody plants are determined by exogenous and endogenous environmental factors, among which the accessibility and attractiveness of forest areas for recreation, the intensity of recreational activities, fluctuations in climatic indicators over the years and the success of natural renewal of woody plants.

As a result of the collapse of the Kakhovka HPP dam, as was determined with the help of satellite imagery in 2024, compared to the year 2020, the area of the coastal zone of the gullies under study increased by at least a factor of 1.75 (Heneralka) and 3.4 (Shyroka) at the most.

Bibliography

Liu S., Zheng Y., Dalponte M., Tong X. A novel fire index-based burned area change detection approach using Landsat-8 OLI data. *European journal of remote sensing*. 2020. Vol. 53, Iss. 1. P. 104–112. <https://doi.org/10.1080/22797254.2020.1738900>.

Liu P., Lee H.K., Cassaza M. Editorial: methods and applications in environmental informatics and remote sensing. *Frontiers in Environmental Science*. 2023. Vol. 11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1255010>.

Mallegowda P., Rengaian G., Krishnan J., Niphadkar M. Assessing Habitat quality of forest-corridors through NDVI analysis in dry tropical forests of South India: Implications for Conservation. *Remote Sensing*. 2015. Vol. 7, Iss. 2. P. 1619–1639. <https://doi.org/10.3390/rs70201619>.

Pettorelli N., Safi K., Turner W. Satellite remote sensing, biodiversity research and conservation of the future. *Philosophical Transactions of Royal Society*. 2014. B369: 20130190. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0190>.

Soydan O. Detecting forest fire damage using remote sensing. *Eurasian Journal of Agricultural Research*. 2024. Vol. 8, Iss. 2. P. 202–211.

Wu Shou-Tsung, Chen Yeong-Shyang. Examining eco-environmental changes at major recreational sites in Kenting National Park in Taiwan by integrating SPOT satellite images and NDVI. *Tourism Management*. 2016. Vol. 57. P. 23–36. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2016.05.006>.

Букша І.Ф., Бондарук М.А., Целіщев О.Г., Пивовар Т.С., Букша М.І., Пастернак В.П. Прогноз життєздатності сосни звичайної і дуба звичайного у разі зміни клімату в рівнинній частині України / І.Ф. Букша та ін. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2017. Вип. 130. С. 146–148. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.141.2022.23>.

Знищення Каховського водосховища: екологічні наслідки / упоряд. В.В. Колодежна, О.В. Василюк. Чернівці : Друк Арт, 2025. 112 р.

Іванченко О.Є., Бессонова В.П., Склярєнко А.В. Використання даних супутника Landsat для оцінки стану рослинності парків м. Дніпро. *Екологічні науки*. 2022. № 3(42). С. 72–83. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.12>.

Кобець С., Шелегеда В. Самовідновлення рослинності на порушених ландшафтах річки Верхня Хортиця в районі м. Запоріжжя після підриву греблі Каховської ГЕС. *Військово-історичні події на теренах України: минуле і сучасність* : III Всеукраїнська історико-краєзнавча конференція. Запоріжжя, 2024. С. 386–388.

Лялько В.І., Шпортюк, З.М., Сахацький, О.І., Сибірцева, О.М. Використання індексів червоного краю та водних індексів за гіперспектральними даними EO-1 «Hyperion»

для класифікації земного покриву. *Космічна наука і технологія*. 2008. № 3(52). С. 55–68. <http://dx.doi.org/10.15407/knit2008.03.055>.

Муленко М.А. Наслідки руйнування Каховської ГЕС для заказника «Дніпровські пороги», ретроспектива подій та вжиття заходів. *Матеріали науково-практичного семінару, присвяченого 50-річчю загальногеологічного заказника загальнодержавного значення «Дніпровські пороги» (28 жовтня 2024 р., м. Запоріжжя)*. Чернівці : ДрукАрт, 2025. С. 65–68.

Охріменко С.Г., Ткач Є.Д. Созофіти та оселища території урочища Хортиця під охороною Бернської конвенції. *ScienceRise:Biological Science*. 2019. № 1(16). С. 19–24. <https://doi.org/10.15587/2519-8025.2019.159799>.

Семенова І.Г. Використання вегетаційних індексів для моніторингу посух в Україні. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2014. № 14. С. 43–52.

Склярченко А.В., Бессонова В.П. Оцінка щільності та стану зелених насаджень санітарно-захисних зон промислових підприємств м. Запоріжжя в динаміці з використанням даних супутника Landsat. *Екологічні науки*. 2020. № 1(28). С. 64–77. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.10>.

References

Liu, S., Zheng, Y., Dalponte, M. & Tong, X. (2020). A novel fire index-based burned area change detection approach using Landsat-8 OLI data. *European journal of remote sensing*, 53(1), 104–112. <https://doi.org/10.1080/22797254.2020.1738900> [in English].

Liu, P., Lee, H.K., & Cassaza, M. (2023). Editorial: methods and applications in environmental informatics and remote sensing. *Frontiers in Environmental Science*. 11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1255010> [in English].

Mallegowda, P., Rengaiyan, G., Krishnan, J., & Niphadkar M. (2015). Assessing Habitat quality of forest-corridors through NDVI analysis in dry tropical forests of South India: Implications for Conservation. *Remote Sensing*. 7(2), 1619–1639. <https://doi.org/10.3390/rs70201619> [in English].

Pettorelli, N., Safi, K., & Turner, W. (2014). Satellite remote sensing, biodiversity research and conservation of the future. *Philosophical Transactions of Royal Society*. B369: 20130190. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0190> [in English].

Soydan, O. (2024). Detecting forest fire damage using remote sensing. *Eurasian Journal of Agricultural Research*. 8(2), 202–211 [in English].

Wu, Shou-Tsung, & Chen, Yeong-Shyang. (2016). Examining eco-environmental changes at major recreational sites in Kenting National Park in Taiwan by integrating SPOT satellite images and NDVI. *Tourism Management*. 57, 23–36. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2016.05.006> [in English].

Buksha, I.F., Bondaruk, M.A., Tselyshchev, O.G., Pyvovar, T.S., Buksha, M.I., & Pasternak, V.P. (2017). Prohnoz zhyttiezdatnosti sosny zvychainoi i duba zvychainoho u razi zminy klimatu v rivnynni chastyi Ukrainy [Vitality forecasting for Scots pine and English oak in condition of climate change in the lowland of Ukraine]. *Lisivnytstvo i ahrolisomeliioratsiia [Forestry and Forestry Melioration]*, 130, 146–158. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.141.2022.23> [in Ukrainian].

Znyshchennia Kakhovskoho vodoskhovyshcha: ekolohichni naslidky (2025). [Destruction of the Kakhovka reservoir: environmental consequences] / compiled by V.V. Kolodziejna, O.V. Vasylyuk. Chernivtsi: Druk Art. 112 p. [in Ukrainian].

Ivanchenko, O.Y., Bessonova, V.P., & Sklyarenko, A.V. (2022). Vykorystannia danykh suputnyka Landsat dlia otsinky stanu roslynnosti parkiv m. Dnipro [Using data from Landsat satellite to assess condition of vegetation in parks of Dnipro city]. *Ekolohichni nauky [Ecological sciences]*, 3(42), 72–83. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.12> [in Ukrainian].

Kobets, S., & Shelegeda, V. (2024). Samovidnovlennia roslynnosti na porushenykh landshaftakh richky Verkhnia Khortytsia v raioni m. Zaporizhzhia pislia pidryvu hrebli Kakhovskoi HES [Self-recovery of vegetation on the disturbed landscapes of the upper Khortytsia river in the Zaporizhzhia region after the explosion of the Kakhovska dam]. Military and historical events on the territory of Ukraine: past and present third all-Ukrainian historical and local history conference, 386–388 [in Ukrainian].

Lyalko, V.I., Shportjuk, Z.M., Sakhatsky, O.I., & Sibirtseva, O.N. (2008). Vykorystannia indeksiv chervonoho kraiu ta vodnykh indeksiv za hiperspektralnymy danymy EO-1 “Hyperion” dlia klasyfikatsii zemnoho pokryvu [The use of red indices and water indices from hyperspectral data from EO-1 Hyperion for land cover classification]. *Kosmichna nauka i tekhnolohiia [Space science and technology]*, 3(52), 55–68. <http://dx.doi.org/10.15407/knit2008.03.055> [in Ukrainian].

Mulenko, M.A. (2025). Naslidky ruinuвання Kakhovskoi HES dlia zakaznyka “Dniprovski porohy”, retrospektyva podii ta vzhytta zakhodiv [Consequences of the destruction of the Kakhovska damm for the nature reserve “Dniprovski Porogy”, retrospective of events and implementation of measures]. Materials of scientific and practical seminar on the 50th anniversary of the general geological reserve of national importance “Dniprovski Porogy” (October 28, 2024, Zaporizhzhia), Chernivtsi : DrukArt, 65–68. [in Ukrainian].

Okhrimenko, S.G., & Tkach, E.D. (2019). Sozofity ta oselyshcha terytorii urochyshecha Khortytsia pid okhoronoiu Bernskoi konventsii [Sozophytes and habitats of the Khortytsia tract under the protection of the Berne Convention]. *ScienceRise: Biological Sciences*. 1(16), 19–24. <https://doi.org/10.15587/2519-8025.2019.159799> [in Ukrainian].

Semenova, I.G. (2014). Vykorystannia vehetatsiinykh indeksiv dlia monitorynhu posukh v Ukraini [Using of vegetation indices for drought monitoring in Ukraine]. *Ukrainskyi hidrometeorologichnyi zhurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 14, 43–52. [in Ukrainian].

Sklyarenko, A., & Bessonova, V. (2020). Otsinka shchilnosti ta stanu zelenykh nasadzen sanitarno-zakhysnykh zon promyslovykh pidpriemstv m. Zaporizhzhia v dynamitsi z vykorystanniam danykh suputnyka Landsat [Assessment of fluctuations in density and growing conditions of green plantations in the area of sanitary protection zones of industrial enterprises in the city of Zaporizhzhya by using Landsat satellite imagery]. *Ekologichni nauky [Ecological sciences]*, 1(28), 64–77 <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.10> [in Ukrainian].

Отримано: 24.06.2025

Прийнято: 22.07.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 582.32 (477.41)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.2>

ДО БРІОФЛОРИ НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ «ЗАЛІССЯ»

В. М. Вірченко¹

Національний природний парк «Залісся» створено у 2009 році на території Київської та Чернігівської областей на площі 14 836 га. Парк складається з урочищ «Залісся» та «Гоголівські гаї» і невеликої Придеснянської ділянки поблизу с. Нижня Дубечня Вишгородського р-ну.

Рослинність представлена тут сосновими, сосново-дубовими, дубово-грабовими, вільховими лісами, піщаними степами, заплавленими луками і болотами.

У травні й жовтні 2024 р. відбулися поїздки автора статті до урочищ «Залісся» і «Гоголівські гаї». Обстежені дубовий, вільховий, сосновий ліси, тополеві насадження, осокове болото, псамофітна степова ділянка, штучні кам'янисті субстрати. Було зібрано близько 60 пакетів мохоподібних. Натепер у НПП «Залісся» загалом встановлено 74 види мохоподібних, з них 5 видів – печіночники і 69 – мохи. Провідні місця в спектрі родин мохів займають *Orthotrichaceae* (11 видів), *Brachytheciaceae* (9) і *Amblystegiaceae* (5); решта 22 родини включають 1–4 види. Видове багатство родин *Orthotrichaceae*, *Brachytheciaceae*, в меншій мірі *Dicranaceae*, *Mniaceae*, *Polytrichaceae* свідчить про високу залісненість цієї території. Через її низьку заболоченість нижчі позиції в спектрі родин займають *Amblystegiaceae* і *Sphagnaceae*, що властиві перезволоженим біотопам Полісся. Печіночники представлені лише 5 родинами, що містять по одному виду.

Встановлено, що дубово-грабові ліси парку вирізняються найбільшим багатством мохоподібних. Найменше різноманіття видів спостерігається на піщаних степах і болотах. Оригінальності бріофлори парку надають кальцефільні епіліти, які селяться на штучних кам'янистих субстратах. У парку знайдено деякі рідкісні види: *Schistidium helveticum* – новий для рівнинної частини України, *Didymodon rigidulus* – новий для Українського Полісся та чотири види нові для Лівобережного Полісся – *Cephaloziella rubella*, *Schistidium crassipilum*, *Pulvigerella lyellii*, *Orthotrichum anomalum*.

Ключові слова: бріофіти, рідкісні види флори, національний природний парк «Залісся», Українське Полісся.

¹ кандидат біологічних наук,
старший науковий співробітник
(Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, м. Київ)
e-mail: vir_chen_ko@ukr.net
ORCID: 0000-0002-8205-5122

TO THE BRYOPHYTE FLORA OF THE NATIONAL NATURE PARK “ZALISSIA”

V. M. Virchenko

The National Nature Park “Zalissia” was created in 2009 on the territory of Kyiv and Chernihiv regions on an area of 14836 hectares. The park consists of the tracts of forest “Zalissia” and “Gogolivski groves” and a small Prydesnyanska area near the village of Nyzhnya Dubechnya, Vyshgorod district. The vegetation here is represented by pine, pine-oak, oak-hornbeam, alder forests, sandy steppes, floodplain meadows and swamps.

In May and October 2024, the author of the article made trips to the tracts “Zalissia” and “Gogolivski groves”. Oak, alder, pine forests, poplar plantations, sedge swamp, psammophyte steppe area, artificial rocky substrates were surveyed. About 60 packages of bryophytes were collected. Today, a total of 74 bryophyte species have been identified in the Zalissia National Park, of which 5 are liverwort species and 69 are mosses. The leading places in the spectrum of moss families are occupied by Orthotrichaceae (11 species), Brachytheciaceae (9) and Amblystegiaceae (5); the remaining 22 families include 1–4 species. The species richness of the families Orthotrichaceae, Brachytheciaceae, and to a lesser extent Dicranaceae, Mniaceae, and Polytrichaceae indicates the high forestation of this territory. Due to its low wetlands, lower positions in the spectrum of families are occupied by Amblystegiaceae and Sphagnaceae, which are characteristic of the waterlogged biotopes of Polissya. Liverworts are represented by only 5 families, each containing one species.

The oak-hornbeam forests of the park are distinguished by the greatest richness of bryophytes. The least species diversity is observed in sandy steppes and swamps. The originality of the park’s bryoflora is given by calciphilic epiliths that settle on artificial rocky substrates.

Some rare species were found in the park: Schistidium helveticum – new for the plain part of Ukraine, Didymodon rigidulus – new for Ukrainian Polissya and four species new for Left-Bank Polissya – Cephaloziella rubella, Schistidium crassipilum, Pulviger a lyellii, Orthotrichum anomalum.

Key words: bryophytes, rare species, National Nature Park “Zalissia”, Ukrainian Polissya.

Вступ

Відомості про мохоподібні більшості природних заповідників і національних парків зони мішаних лісів нашої країни узагальнено в монографії «Мохоподібні природно-заповідних територій Українського Полісся» (Вірченко, 2014). Проте такі національні парки, як «Мале Полісся», Нобельський, «Цуманська пуща», «Залісся», раніше не були охоплені бріологічними дослідженнями. Тому метою нашого дослідження було вивчення різноманіття бріофітів НПП «Залісся», їх розподілу за фітоценозами та встановлення раритетної компоненти бріофлори парку.

Матеріал і методи

Національний природний парк «Залісся» створено у 2009 році на території Київської та Чернігівської областей на площі 14 836 га. Парк складається з трьох окремих частин: урочищ «Залісся» і «Гоголівські гаї» та невеликої Придеснянської ділянки поблизу с. Нижня Дубечня Вишгородського р-ну Київської обл. За характером рельєфу та розташуванням територія парку лежить у межах першої та другої надзаплавних терас долини р. Десна. Гідрографічна мережа тут антропогенного походження і представлена дренажними каналами та двома ставками, що утворилися на місці колишніх торфороз-

робок. Клімат помірно-континентальний, а серед ґрунтів найбільш поширені дерново-підзолисті (Природно-заповідний фонд ..., 2012; Флора ..., 2024). У флорі судинних рослин НПП «Залісся» встановлено 778 видів та підвидів, з яких аборигенна фракція становить 612 таксонів, а адвентивна – 166 (Баранський і Коломійчук, 2021; Коломійчук та ін., 2024). Рослинність представлена сосновими, сосново-дубовими, дубово-грабовими, вільховими лісами, піщаними степами, заплавними луками і болотами (Коломійчук і Баранський, 2021).

До наших досліджень для території НПП «Залісся», за зборами В.П. Коломійчука і М.В. Шевери 2022–2023 років, було відомо лише 18 видів мохів. У травні й жовтні 2024 р. відбулися поїздки автора статті до урочищ «Залісся» і «Гоголівські гаї». Обстежені дубовий, вільховий, сосновий ліси, тополеві насадження, осокове болото, псамофітна степова ділянка, штучні кам’яні субстрати (причал, бетонні містки, фундаменти старих будівель). Було зібрано близько 60 пакетів мохоподібних, у результаті визначення яких вперше для парку встановлено 56 видів. Зібрані зразки визначені у відділі фікології, ліхенології та бріології Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАНУ за загальноприйнятою методикою (Бойко, 2018).

Латинські видові назви та обсяг родин подані за сучасним «Анотованим чеклістом мохоподібних Європи, Макаронезії та Кіпру» (Hodgetts et al., 2020), адаптованим для України (Вірченко, Нипорко, 2022).

Результати

З урахуванням результатів наших досліджень і даних попередніх колекторів у НПП «Залісся» натепер установлено 74 види мохоподібних, з них 5 видів печіночники і 69 – мохи. Провідні місця в спектрі родин мохів займають Orthotrichaceae (11 видів), Brachytheciaceae (9) і Amblystegiaceae (5); решта 22 родини включають 1–4 види. Видове багатство родин Orthotrichaceae, Brachytheciaceae, в меншій мірі Dicranaceae, Mniaceae, Polytrichaceae свідчить про високу залісненість цієї території. Через її низьку заболоченість нижчі позиції в спектрі родин займають Amblystegiaceae і Sphagnaceae, що властиві перезволоженим біотопам Полісся. Печіночники представлені лише 5 родинами, що містять по одному виду.

Поряд із поширеними в парку знайдено деякі рідкісні види. Зокрема, тут виявлено новий вид для рівнинної частини України *Schistidium helveticum*, який до цього був відомий лише в заказнику «Новий Світ» в околицях м. Судак АР Крим (Ellis et al., 2016). Наступний вид, *Didymodon rigidulus*, раніше не наводили для Українського Полісся (Бачурина, Мельничук, 1988). Ще чотири види (*Cephaloziella rubella*, *Schistidium crassipilum*, *Pulvigerella lyellii* і *Orthotrichum apotomalum*) вперше знайдено на території Лівобережного Полісся (Бойко, 2011).

Нижче наводиться список мохоподібних національного парку, який у майбутньому може бути доповнений за рахунок ще не обстеженої нами Придеснянської ділянки. Там, де біля дати збору не вказано колектора, ним є автор статті.

Список мохоподібних НПП «Залісся»

Відділ MARCHANTIOPHYTA – печіночники

Родина Cephaloziellaceae Douin

Cephaloziella rubella (Nees) Warnst. Ур. «Залісся». У молодому сосняку, на ґрунті, 23.05.2024.

Родина Lophocoleaceae Vanden Berghen

Lophocolea heterophylla (Schrad.) Dumort. Ур. «Залісся». У сосняку, на лісовій підстилці, 23.05.2024; вільшняк, на окоренках дерев, 23.05.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Мішаний листяний ліс, на деревах, 24.05.2024.

Родина Frullaniaceae Lorch

Frullania dilatata (L.) Dumort. Ур. «Залісся». Дубовий ліс, на дубі, 23.05.2024.

Родина Radulaceae Mull.Frib.

Radula complanata (L.) Dumort. Ур. «Залісся». Дубово-грабовий ліс, на дубі, 23.05.2024; широколистяний ліс, на ясені, 23.05.2024; на тополі в освітленому місці, 23.05.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Мішаний листяний ліс, на деревах, 24.05.2024.

Родина Ptilidiaceae H.Klinggr.

Ptilidium pulcherrimum (Weber) Vain. Ур. «Залісся». Березовий ліс, на окоренку берези, 24.05.2024.

Відділ BRYOPHYTA – мохи

Родина Sphagnaceae Dumort.

Sphagnum fimbriatum Wilson. Ур. «Залісся». Вільховий ліс, на пристовбурових підвищеннях, 25.10.2024.

Родина Polytrichaceae Schwägr.

Atrichum undulatum (Hedw.) P.Beauv. Ур. «Залісся». Дубовий ліс, на стовбурах дерев, 23.05.2024; у вирвах від вибухів, 23.05.2024 (Шевера). Ур. «Гоголівські гаї». Широколистяний ліс, на ґрунті, 26.05.2023 (Шевера).

Polytrichum juniperinum Hedw. Ур. «Залісся». На ґрунті в освітлених місцях, 12.04.2024 (Шевера); вільшняк, на купинах, 25.10.2024.

Polytrichum longisetum Sw. ex Brid. Ур. «Залісся». Вільшняк, на купинах, 25.10.2024.

Polytrichum piliferum Hedw. Ур. «Залісся». На ґрунті в освітлених місцях, 11.08.2022 (Коломійчук); ділянка з ковилою, на ґрунті, 23.05.2024; у молодому сосняку, на ґрунті, 23.05.2024.

Родина Vuxbaumiaceae Schimp.

Vuxbaumia aphylla Hedw. Ур. «Залісся». У молодому сосняку, на порушеному ґрунті, 23.05.2024 (Громакова).

Родина Funariaceae Schwägr.

Funaria hygrometrica Hedw. Ур. «Гоголівські гаї». Широколистяний ліс, на порушеному ґрунті, 26.05.2023 (Шевера); у вирвах від вибухів, 23.05.2024 (Шевера).

Родина Dicranellaceae M.Stech

Dicranella heteromalla (Hedw.) Schimp. Ур. «Залісся». Широколистяний ліс, на ґрунті, 12.04.2024 (Шевера).

Dicranella varia (Hedw.) Schimp. Ур. «Гоголівські гаї». Широколистяний ліс, на відслоненнях ґрунту, 26.10.2024.

Родина Dicranaceae Schimp.

Dicranum montanum Hedw. Ур. «Залісся». Дубово-грабовий ліс, на дубі, 23.05.2024; березовий ліс, на окоренку берези, 24.05.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Широколистяний ліс, на березі, 26.10.2024.

Dicranum polysetum Sw. ex anon. Ур. «Залісся». Сосновий ліс, на ґрунті, 12.04.2024 (Шевера); сосняк конвалієвий, на ґрунті, 23.05.2024.

Dicranum scoparium Hedw. Ур. «Залісся». Сосняк конвалієвий, на ґрунті, 23.05.2024; березовий ліс, на окоренку берези, 24.05.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Мішаний листяний ліс, у вирвах від вибухів, 24.05.2024.

Dicranum tauricum Sapjegin. Ур. «Залісся». Березовий ліс, на окоренку берези, 24.05.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Широколистяний ліс, на березі, 26.10.2024.

Родина Ditrichaceae Limpr.

Ceratodon purpureus (Hedw.) Brid. Ур. «Залісся». На ґрунті в освітлених місцях, 11.08.2022 (Коломійчук); на штучних кам'янистих субстратах, 22.05.2024; на ділянці з ковилою, 23.05.2024; у вирвах від вибухів, 23.05.2024 (Шевера). Ур. «Гоголівські гаї». Широколистяний ліс, на відслоненнях ґрунту, 26.10.2024.

Родина Pottiaceae Schimp.

Barbula unguiculata Hedw. Ур. «Залісся». На штучних кам'янистих субстратах, 22.05.2024.

Didymodon rigidulus Hedw. Ур. «Залісся». На штучних кам'янистих субстратах, 22.05.2024.

Syntrichia ruralis (Hedw.) F. Weber & D. Mohr. Ур. «Залісся». На штучних кам'янистих субстратах, 22.05.2024; на ділянці з ковилою, 23.05.2024; на окоренку тополі в освітленому місці, 23.05.2024.

Tortula muralis Hedw. Ур. «Залісся». На штучних кам'янистих субстратах, 22.05.2024.

Родина Grimmiaceae Arn.

Grimmia pulvinata (Hedw.) Sm. Ур. «Залісся». На штучних кам'янистих субстратах, 22.05.2024.

Schistidium crassipilum H.N. Blom. Ур. «Залісся». На штучних кам'янистих субстратах, 22.05.2024.

Schistidium helveticum (Schkuhr) Deguchi. Ур. «Залісся». На штучних кам'янистих субстратах (бетонний причал), 22.05.2024.

Родина Bryaceae Schwägr.

Bryum argenteum Hedw. Ур. «Залісся». На штучних кам'янистих субстратах, 22.05.2024.

Ptychostomum capillare (Hedw.) Holyoak & N. Pedersen. Ур. «Залісся». На ґрунті в освітлених місцях, 12.04.2024 (Шевера); на ділянці з ковилою, 23.05.2024.

Ptychostomum imbricatum (Müll. Hal.) Holyoak & N. Pedersen. Ур. «Залісся». На

ґрунті в освітлених місцях, 12.04.2024 (Шевера); на штучних кам'янистих субстратах, 22.05.2024; на ділянці з ковилою, 23.05.2024.

Ptychostomum moravicum (Podp.) Ros & Mazimpraka. Ур. «Залісся». На штучних кам'янистих субстратах, 22.05.2024; дубово-грабовий ліс, на дубі, 23.05.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Широколистяний ліс, на дубі, 26.10.2024.

Родина Mniaceae Schwägr.

Plagiomnium cuspidatum (Hedw.) T.J. Кор. Ур. «Залісся». Дубовий ліс, на ґрунті, 23.05.2024; сосняк конвалієвий, на ґрунті, 23.05.2024; березовий ліс, на окоренку берези, 25.10.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Широколистяний ліс, на окоренках дерев, 26.05.2023 (Шевера).

Plagiomnium medium (Bruch et Schimp.) T.J. Кор. Ур. «Залісся». Сосновий ліс зеленотомоховий, на ґрунті, 24.05.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Широколистяний ліс, на окоренках берези, 26.10.2024.

Plagiomnium rostratum (Schrad.) T.J. Кор. Ур. «Залісся». Сосновий ліс, вирва від шахеда, на ґрунті, 07.05.2025 (Зав'ялова).

Pohlia nutans (Hedw.) Lindb. Ур. «Залісся». Сосновий ліс, на ґрунті, 12.04.2024 (Шевера); дубовий ліс, на ґрунті, 23.05.2024; березовий ліс, на окоренку берези, 25.10.2024.

Родина Orthotrichaceae Arn.

Lewinskya affinis (Schrad. ex Brid.) F.Lara, Garilleti & Goffinet. Ур. «Залісся». На тополі в освітленому місці, 23.05.2024.

Lewinskya speciosa (Nees) F.Lara, Garilleti & Goffinet. Ур. «Залісся». На штучних кам'янистих субстратах, 22.05.2024; на тополі в освітленому місці, 23.05.2024; березовий ліс, на окоренку берези, 25.10.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Широколистяний ліс, на клені, 24.05.2024.

Lewinskya striata (Hedw.) F.Lara, Garilleti & Goffinet. Ур. «Залісся». Широколистяний ліс, на ясені, 23.05.2024.

Nyholmia obtusifolia (Brid.) Holmen & E. Warncke. Ур. «Залісся». На штучних кам'янистих субстратах, 22.05.2024; на тополі в освітленому місці, 23.05.2024.

Orthotrichum anomalum Hedw. Ур. «Залісся». На штучних кам'янистих субстратах, 22.05.2024.

Orthotrichum cupulatum Brid. Ур. «Залісся». На штучних кам'янистих субстратах, 22.05.2024.

Orthotrichum diaphanum Brid. Ур. «Залісся». На штучних кам'янистих субстратах, 22.05.2024.

- Orthotrichum patens* Bruch ex Brid. Ур. «Залісся». Широколистяний ліс, на ясені, 23.05.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Широколистяний ліс, на клені, 24.05.2024.
- Orthotrichum pumilum* Sw. ex anon. Ур. «Залісся». На штучних кам'янистих субстратах, 22.05.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Мішаний листяний ліс, на деревах, 24.05.2024.
- Pulvigerella lyellii* (Hook. & Taylor) Plasek, Sawicki & Ochuga. Ур. «Залісся». На шовковиці в освітленому місці, 23.05.2024.
- Ulotia crispa* (Hedw.) Brid. Ур. «Гоголівські гаї». Широколистяний ліс, на дубі, 26.10.2024.
- Родина Plagiotheciaceae M.Fleisch.
- Plagiothecium denticulatum* (Hedw.) Schimp. Ур. «Залісся». Вільшняк, на окоренках дерев, 23.05.2024.
- Plagiothecium laetum* Schimp. Ур. «Гоголівські гаї». Широколистяний ліс, на окоренках берези, 26.10.2024.
- Родина Climaciaceae Kindb.
- Climacium dendroides* (Hedw.) F.Weber & D.Mohr. Ур. «Залісся». На травистих схилах до ставка, 25.10.2024.
- Родина Amblystegiaceae G.Roth
- Amblystegium serpens* (Hedw.) Schimp. Ур. «Залісся». Дубовий ліс, на стовбурах дерев, 23.05.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Широколистяний ліс, на клені, 24.05.2024.
- Drepanocladus aduncus* (Hedw.) Warnst. Ур. «Залісся». Осокове болото, 25.10.2024.
- Hydroamblystegium varium* (Hedw.) Mönk. Ур. «Залісся». Вільшняк, на деревах, 23.05.2024.
- Leptodictyum riparium* (Hedw.) Warnst. Ур. «Залісся». Вільшняк, у канаві з водою, 23.05.2024; осокове болото, 25.10.2024.
- Pseudoamblystegium subtile* (Hedw.) Vanderp. & Hedenäs. Ур. «Залісся». Широколистяний ліс, на ясені, 23.05.2024; дубово-грабовий ліс, на дубі, 23.05.2024.
- Родина Leskeaceae Schimp.
- Leskea polycarpa* Hedw. Ур. «Залісся». На тополі в освітленому місці, 23.05.2024.
- Родина Pseudoleskeaceae Ignatov & Ignatova
- Pseudoleskeella nervosa* (Bryd.) Nyholm. Ур. «Залісся». Широколистяний ліс, на ясені, 23.05.2024; дубово-грабовий ліс, на дубі, 23.05.2024.
- Родина Brachytheciaceae Schimp.
- Brachytheciastrum velutinum* (Hedw.) Ignatov & Huttunen. Ур. «Залісся». Вільшняк, на деревах, 23.05.2024; дубово-грабовий ліс, на дубі, 23.05.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Мішаний листяний ліс, на деревах, 24.05.2024.
- Brachythecium albicans* (Hedw.) Schimp. Ур. «Залісся». На ґрунті в освітлених місцях, 12.04.2024 (Шевера); на ділянці з ковилою, 23.05.2024; на сухих бетонних плитах, 23.05.2024.
- Brachythecium campestre* (Müll. Hal.) Schimp. Ур. «Залісся». На ґрунті в освітлених місцях, 11.08.2022 (Коломійчук).
- Brachythecium rutabulum* (Hedw.) Schimp. Ур. «Залісся». Широколистяний ліс, на ясені, 23.05.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Мішаний листяний ліс, на ґрунті, 24.05.2024.
- Brachythecium salebrosum* (Hoffm. ex F.Weber & D.Mohr) Schimp. Ур. «Залісся». На штучних кам'янистих субстратах, 22.05.2024; вільшняк, на деревах, 23.05.2024; сосновий ліс, на лісовій підстилці, 24.05.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Широколистяний ліс, на стовбурах дерев, 26.05.2023 (Шевера).
- Oxyrrhynchium hians* (Hedw.) Loeske. Ур. «Гоголівські гаї». Широколистяний ліс, на ґрунті, 26.05.2023 (Шевера); у вирвах від вибухів, 23.05.2024 (Шевера).
- Sciuro-hypnum curtum* (Lindb.) Ignatov. Ур. «Залісся». На ґрунті в освітлених місцях, 11.08.2022 (Коломійчук); на мертвій деревині в лісі, 12.04.2024 (Шевера); сосновий ліс, на лісовій підстилці, 24.05.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Широколистяний ліс, на окоренках берези, 26.10.2024.
- Sciuro-hypnum populeum* (Hedw.) Ignatov & Huttunen. Ур. «Залісся». На штучних кам'янистих субстратах, 22.05.2024.
- Sciuro-hypnum reflexum* (Starke) Ignatov & Huttunen. Ур. «Залісся». Дубово-грабовий ліс, на дубі, 23.05.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Широколистяний ліс, на дубі, 26.10.2024.
- Родина Hypnaceae Schimp.
- Hypnum cupressiforme* Hedw. Ур. «Залісся». На штучних кам'янистих субстратах, 22.05.2024; дубово-грабовий ліс, на дубі, 23.05.2024; на тополі в освітленому місці, 23.05.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Широколистяний ліс, на стовбурах дерев, 26.05.2023 (Шевера).
- Родина Callicladiaceae Jan Kučera & Ignatov
- Callicladium haldanianum* (Grev.) H.A.Crum. Ур. «Залісся». Вільшняк, на окоренках дерев, 23.05.2024; березовий ліс, на окоренку берези, 25.10.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Широколистяний ліс, на дубі, 26.10.2024.
- Родина Pylaisiadelphaceae Goffinet & W.R.Buck

Platygyrium repens (Brid.) Schimp. Ур. «Залісся». Дубово-грабовий ліс, на дубі, 23.05.2024; вільшняк, на деревах, 23.05.2024; березовий ліс, на окоренку берези, 25.10.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Мішаний листяний ліс, на деревах, 24.05.2024; широколистяний ліс, на дубі, 26.10.2024.

Родина Jocheniaceae Jan Kučera & Ignatov
Jochenia pallescens (Hedw.) Hedenäs, Schlesak & D. Quandt. Ур. «Залісся». Вільшняк, на деревах, 23.05.2024; березовий ліс, на окоренку берези, 24.05.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Широколистяний ліс, на березі, 26.10.2024.

Родина Pylaisiaceae Schimp.

Calliergonella cuspidata (Hedw.) Loeske. Ур. «Залісся». Вільшняк, на ґрунті, 23.05.2024; осокове болото, 25.10.2024.

Pylaisia polyantha (Hedw.) Schimp. Ур. «Залісся». Дубово-грабовий ліс, на дубі, 23.05.2024; на тополі в освітленому місці, 23.05.2024; вільшняк, на деревах, 23.05.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Мішаний листяний ліс, на деревах, 24.05.2024.

Родина Hylocomiaceae M.Fleisch.

Hylocomium splendens (Hedw.) Schimp. Ур. «Залісся». Сосняк конвалієвий, на ґрунті, 23.05.2024.

Pleurozium schreberi (Willd. ex Brid.) Mitt. Ур. «Залісся». Сосновий ліс, на ґрунті, 12.04.2022 (Шевера); сосняк конвалієвий, на ґрунті, 23.05.2024.

Родина Leucodontaceae Schimp.

Leucodon sciuroides (Hedw.) Schwägr. Ур. «Залісся». Дубово-грабовий ліс, на дубі, 23.05.2024. Ур. «Гоголівські гаї». Широколистяний ліс, на дубі, 26.10.2024.

Родина Neckeraceae Schimp.

Homalia trichomanoides (Hedw.) Brid. Ур. «Залісся». Дубово-грабовий ліс, на дубі, 23.05.2024.

Обговорення

Найбільше багатство мохів спостерігається в дубово-грабових лісах. На стовбурах дерев тут відмічені епіфітні печіночники *Radula complanata*, *Frullania dilatata* та мохи *Нурнум cupressiforme*, *Homalia trichomanoides*, *Leucodon sciuroides*, *Platygyrium repens*, *Amblystegium serpens*, види родів *Brachythecium* Schimp. і *Orthotrichum* s.l. На ґрунті в таких лісах звичайні *Atrichum undulatum*, *Oxyrrhynchium hians*, *Dicranella heteromalla*.

Для вільшняків характерні *Lophocolea heterophylla*, *Callicladium haldanianum*, *Plagiothecium denticulatum*, *Hygroamblystegium*

varium, *Jochenia pallescens*, *Pylaisia polyantha*, *Brachytheciastrum velutinum* та ін. У них же на пристовбурових «п'єдесталах» вільхи знайдено торфовий мох *Sphagnum fimbriatum*. Зауважимо, що в подібних стаціях парку можуть бути виявлені ще інші представники цього роду – *Sphagnum flexuosum* Dozy et Molk., *S. palustre* L., *S. squarrosum* Crome, що відомі на Лівобережному Поліссі (Бойко, 1975). На евтрофних болотах відмічені тільки поширені *Calliergonella cuspidata*, *Leptodictyum riparium*, *Drepanocladus aduncus*.

У соснових лісах моховий покрив утворюють *Pleurozium schreberi*, *Dicranum polysetum*, *D. scoparium*, *Hylocomium splendens*, а в сухих місцях – *Ceratodon purpureus*, *Polytrichum piliferum*. На стовбурах беріз трапляються *Ptilidium pulcherrimum*, *Нурнум cupressiforme*, *Jochenia pallescens*, *Dicranum montanum* та експансивний в Європі епіфітний мох *Dicranum tauricum* (Stebel et al., 2012).

Так звані піщані степи заселяють фото- і ксерофільні *Syntrichia ruralis*, *Ceratodon purpureus*, *Polytrichum piliferum*, *Brachythecium albicans*, *Ptychostomum capillare*, *P. imbricatum*.

Своєрідним виявився склад мохів штучних кам'янистих субстратів, оскільки тут знаходять сприятливі умови для поселення епілітні кальцефільні види – *Tortula muralis*, *Grimmia pulvinata*, *Orthotrichum anomalum*, *O. cupulatum*, *Didymodon rigidulus*, *Schistidium helveticum*, *S. crassipilum*, низка з яких є рідкісними для Українського Полісся.

Висновки

Отже, натепер у НПП «Залісся» загалом встановлено 74 види мохоподібних, з них 5 видів – печіночники і 69 – мохи. Провідні місця в спектрі родин мохів займають *Orthotrichaceae*, *Brachytheciaceae* і *Amblystegiaceae*; решта 22 родини включають 1–4 види. Печіночники представлені лише 5 родинами, що містять по одному виду.

Встановлено, що дубово-грабові ліси парку вирізняються найбільшим багатством мохоподібних. Значно менше різноманіття видів властиве піщаним степам і болотам. Оригінальності бріофлорі парку надають кальцефільні епіліти, які селяться на штучних кам'янистих субстратах. У парку знайдені деякі рідкісні види: *Schistidium helveticum* – новий для рівнинної частини України, *Didymodon rigidulus* – новий для Українського Полісся та чотири види, нові для Лівобережного Полісся – *Cephaloziella rubella*, *Schistidium crassipilum*, *Pulvigerella lyellii*, *Orthotrichum anomalum*.

Список використаної літератури

- Баранський О.Р., Коломійчук В.П. Нові місцезнаходження рідкісних видів флори Національного природного парку «Залісся» (Київська область). *Вісті Біосферного заповідника «Асканія-Нова»*. 2021. Т. 23. С. 58–63. <https://doi.org/10.53904/1682-2374/2021-23/8>.
- Бачурина Г.Ф., Мельничук В.М. Флора мохів Української РСР. Київ : Наукова думка, 1988. Вип. 2. 180 с.
- Бойко М.Ф. Мохоподібні вільхових ценозів Лівобережного Полісся УРСР та питання їх охорони. *Український ботанічний журнал*. 1975. Т. 32. № 2. С. 180–187.
- Бойко М.Ф. Анотований список мохоподібних Лівобережного Полісся (Україна). *Чорноморський ботанічний журнал*. 2011. Т. 7. № 2. С. 144–186.
- Бойко М.Ф. Методика дослідження мохоподібних. Херсон : ФОП Вишемирський В.С., 2018. 112 с.
- Вірченко В.М. Мохоподібні природно-заповідних територій Українського Полісся. Київ : ТОВ «НВП «Інтерсервіс», 2014. 224 с.
- Вірченко В.М., Нипорко С.О. Продромус спорових рослин України: мохоподібні. Київ : Наукова думка, 2022. 176 с.
- Коломійчук В.П., Баранський О.Р. Рослинність Національного природного парку «Залісся». *Сучасні фітосозологічні дослідження в Україні*. 2021. Вип. 5. С. 9–18.
- Конспект флори судинних рослин Національного природного парку «Залісся» / В. Коломійчук та ін. *Biota. Human. Technology*. 2024. № 1. С. 19–34. <https://doi.org/10.58407/bht.1.24.2>.
- Природно-заповідний фонд Київської області : монографія / О. Василюк та ін. Київ : Національний екологічний центр України, 2012. 338 с.
- Флора Національного природного парку «Залісся» : монографія / В.П. Коломійчук та ін. Київ : Видавець Бихун В.Ю., 2024. 95 с.
- Ellis L.T., Aleffi M., Alegro A., Segota V., Asthana A.K., Gupta R., Singh V.J., Bakalin V.A., Bednarek-Ochyra H., Cykowska-Marzencka B., Benitez A., Borovichev E.A., Vilnet A.A., Konstantinova N.A., Buck W.R., Cacciatoro C., Sérgio C., Csiky J., Deme J., Kovács D., Damsholt K., Enroth J., Erzberger P., Fedosov V.E., Fuertes E., Gradstein S.R., Gremmen N.J.M., Hallingbäck T., Jukonienė I., Kiebacher T., Larraín J., Lebouvier M., Lüth M., Mamontov Yu.S., Potemkin A.D., Nemeth Cs., Nieuwkoop J.A.W., Nobis M., Węgrzyn M., Wietrzyk P., Osorio F., Parnikoza I., Virchenko V.M., Peralta D.F., Carmo D.M., Plášek V., Skoupá Z., Poponessi S., Venanzoni R., Puche F., Purger D., Reeb C., Rios R., Rodriguez-Quiel E., Arrocha C., Sabovljević M.S., Nikolić N., Sabovljević A.D., Dos Santos E. L., Segarra-Moragues J.G., Ștefănuț S. & Stončius D. New national and regional bryophyte records, 48. *Journal of Bryology*. 2016. Vol. 38. № 3. P. 235–259. <http://dx.doi.org/10.1080/03736687.2016.1206685>.
- Hodgetts N.G., Söderström L., Blockeel T.L., Caspari S., Ignatov M.S., Konstantinova N.A., Lockhart N., Papp B., Schröck C., Sim-Sim M., Bell D., Bell N.E., Blom H.H., Bruggeman-Nannenga M.A., Brugués M., Enroth J., Flatberg K.I., Garilleti R., Hedenäs L., Holyoak D.T., Hugonnot V., Kariyawasam I., Köckinger H., Kučera J., Lara F., Porley R.D. An annotated checklist of bryophytes of Europe, Macaronesia and Cyprus. *Journal of Bryology*. 2020. Vol. 42. № 1. P. 1–116. <https://doi.org/10.1080/03736687.2019.1694329>.
- Stebel A., Virchenko V.M., Plasek V., Ochyra R., Bednarek-Ochyra H. Range extension of *Orthodicranum tauricum* (Bryophyta, Dicranaceae) in Central-East Europe. *Polish Botanical Journal*. 2012. V. 57. № 1. P. 119–128.

References

- Baransky, O.R. & Kolomiichuk, V.P. (2021). Novi mistseznachodzhennia ridkisnykh vydiv flory Natsionalnoho pryrodnoho parky "Zalissia" [New locations of rare species of Zalissia National Nature Park flora (Kyiv Region)]. *Visti biosferneho zapovidnyka "Askania Nova" [News Biosphere Reserve "Askania Nova"]*, 23, 58–63. <https://doi.org/10.53904/1682-2374/2021-23/8>. [in Ukrainian].
- Bachuryna, H.F., & Melnychuk, V.M. (1988). Flora mokhiv Ukrainskoi RSR [Moss flora of the Ukrainian SSR]. Kyiv: *Naukova dumka*, 2 [in Ukrainian].
- Boiko, M.F. (1975). Mokhopodibni vilkhovykh tsenoziv Livoberezhnoho Polissya URSR [Alder cenoses bryophyte in Left-Bank Polissya of the Ukrainian RSR and problems of their protection]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal [Ukrainian botanical journal]*, 32 (2), 180–187 [in Ukrainian].
- Boiko, M.F. (2011). Anotovanyi spysok mokhopodibnykh Livoberezhnoho Polissya (Ukraina) [Annotated checklist of bryobionta of the Left-Bank Polissya (Ukraine)]. *Chornomorskyi botanichnyi zhurnal [Chornomorskyi botanical journal]*, 7 (2), 144–186 [in Ukrainian].

- Boiko, M.F. (2018). Metodyka doslidzhennia mokhopodibnykh [Methods of bryophyte research]. Kherson : FOP Vyshemyrskyi V.S. [in Ukrainian].
- Virchenko, V.M. (2014). Mokhopodibni pryrodno-zapovidnykh terytoriy Ukrainського Polissya [Bryophytes of protected areas of the Ukrainian Polissya]. Kyiv : TOV "NVP "Interservis" [in Ukrainian].
- Virchenko, V.M., & Nyporko, S.O. (2022). Prodromus sporovykh roslyn Ukrainy: mokhopodibni [Prodromus of spore plants of Ukraine: bryophytes]. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].
- Kolomiichuk, V.P., Baransky, O.R. (2021). Roslynnist Natsionalnoho pryrodnoho parku "Zalissia" [Vegetation of the "Zalissia" National Nature Park]. *Suchasni fitosozolohichni doslidzhennia v Ukraini [Recent fitosociological investigation in Ukraine]*, 5, 9–18 [in Ukrainian].
- Kolomiichuk, V.P., Shynder, O.I., Baransky, O.R., Shevera, M.V. (2024). Konspekt flory sudynnykh roslyn Natsionalnoho pryrodnoho parku "Zalissia" [Checklist of vascular plants flora of the "Zalissia" National Nature Park]. *Biota. Human. Technology*. 1, 19–34. <https://doi.org/10.58407/bht.1.24.2>. [in Ukrainian].
- Pryrodno-zapovidnyi fond Kyivskoi oblasti [Natural-protective fund of the Kyiv region] (2012) / Vasylyuk, O., Kostyushyn, V., Norenko, K., Plyha, A., Prekrasna, Ye., Kolomytsev, H., Fatikova, M. Kyiv: Natsionalnyi ekolohichniy tsentr [in Ukrainian].
- Flora Natsionalnoho pryrodnoho parku "Zalissia": monohrafia [Flora of the "Zalissia" National Nature Park] (2024) / Kolomiichuk, V.P., Shynder, O.I., Kohut, T.I., Smagol, V.O., Shevera, M.V. Kyiv: Publisher Bykhun V.Yu. [in Ukrainian].
- Ellis, L.T., Aleffi, M., Alegro, A., Segota, V., Asthana, A.K., Gupta, R., Singh, V.J., Bakalin, V.A., Bednarek-Ochyra, H., Cykowska-Marzencka, B., Benitez, A., Borovichev, E.A., Vilnet, A.A., Konstantinova, N.A., Buck, W.R., Cacciatoro, C., Sérgio, C., Csiky, J., Deme, J., Kovács, D., Damsholt, K., Enroth, J., Erzberger, P., Fedosov, V.E., Fuertes, E., Gradstein, S.R., Gremmen, N.J.M., Hallingbäck, T., Jukonienė, I., Kiebacher, T., Larrain, J., Lebouvier, M., Lüth, M., Mamontov, Yu.S., Potemkin, A.D., Nemeth, Cs., Nieuwkoop, J.A.W., Nobis, M., Węgrzyn, M., Wietrzyk, P., Osorio, F., Parnikoza, I., Virchenko, V.M., Peralta, D.F., Carmo, D.M., Plášek, V., Skoupá, Z., Poponessi, S., Venanzoni, R., Puche, F., Purger, D., Reeb, C., Rios, R., Rodriguez-Quiel, E., Arrocha, C., Sabovljević, M.S., Nikolić, N., Sabovljević, A.D., Dos, Santos E.L., Segarra-Moragues, J.G., Ștefănuț, S., & Stončius, D. (2016). New national and regional bryophyte records, 48. *Journal of Bryology*, Vol. 38. № 3. P. 235–259. <http://dx.doi.org/10.1080/03736687.2016.1206685> [in English].
- Hodgetts, N.G., Söderström, L., Blockeel, T.L., Caspari, S., Ignatov, M.S., Konstantinova, N.A., Lockhart, N., Papp, B., Schröck, C., Sim-Sim, M., Bell, D., Bell, N.E., Blom, H.H., Bruggeman-Nannenga, M.A., Brugués, M., Enroth, J., Flatberg, K.I., Garilleti, R., Hedenäs, L., Holyoak, D.T., Hugonnot, V., Kariyawasam, I., Köckinger, H., Kučera, J., Lara, F., & Porley, R.D. (2020). An annotated checklist of bryophytes of Europe, Macaronesia and Cyprus. *Journal of Bryology*. 42 (1), 1–116. <https://doi.org/10.1080/03736687.2019.1694329> [in English].
- Stebel, A., Virchenko, V.M., Plasek, V., Ochyra, R., & Bednarek-Ochyra, H. (2012). Range extension of *Orthodicranum tauricum* (Bryophyta, Dicranaceae) in Central-East Europe. *Polish Botanical Journal*. 57 (1), 119–128 [in English].

Отримано: 09.07.2025
Прийнято: 05.08.2025
Опубліковано: 17.10.2025





УДК 581.96(477.53):528.9
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.3>

ЕКСПАНСИВНІ АДВЕНТИВНІ ВИДИ УРБАНОФЛОРИ МІСТА КРЕМЕНЦЯ ТА ЙОГО ОКОЛИЦЬ І КАРТОСХЕМИ ЇХ ПОШИРЕННЯ

О. К. Галаган¹, І. М. Михалюк², Н. І. Цицюра³, О. Б. Бондар⁴, І. М. Галаган⁵

Метою статті є виявлення експансивних адвентивних видів урбанофлори м. Кременця та його околиць, аналіз їх способів поширення, рівня натуралізації та створення картосхем їх поширення в межах досліджуваної території.

У дослідженні використано теоретичні та практичні методи. Теоретичні методи передбачали аналіз літературних джерел із подальшою їх систематизацією та узагальненням. Практичні методи стосувалися польових досліджень і камерального оброблення даних. Польові дослідження проводилися протягом 2010–2024 років, у періоди вегетації рослин, як основний використовувався маршрутно-діагностичний метод. Класифікація адвентивних видів за класифікацією Яна Корнася, вдосконаленою В.В. Протопоповою.

¹ кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри біології, екології та методик їх навчання
(Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія ім. Тараса Шевченка, м. Кременець)
e-mail: bukowska.ok@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6775-0752

² кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри біології, екології та методик їх навчання
(Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія ім. Тараса Шевченка, м. Кременець)
e-mail: ilonaMM@i.ua
ORCID: 0000-0002-6455-0015

³ кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри біології, екології та методик їх навчання
(Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія ім. Тараса Шевченка, м. Кременець)
e-mail: smaragds@ukr.net
ORCID: 0000-0002-8663-6397

⁴ кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри екології та охорони здоров'я
(Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль)
e-mail: o.bondar@wunu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-6455-0015

⁵ кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри інформаційних технологій та методики навчання інформатики
(Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія ім. Тараса Шевченка, м. Кременець)
e-mail: GalaganIM@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0555-6548

У результаті встановлено, що в урбанофлорі Кременця налічується понад 20 експансивних адвентивних видів, серед яких переважають кенофіти північноамериканського походження.

Найактивніше поширюються *Solidago canadensis* L., *Ambrosia artemisiifolia* L., *Heraclеum sosnowskyi* Manden., *Heraclеum mantegazzianum* S. et L., *Reynoutria sachalinensis* (Fr. Schmidt) Nakai, *Phalacroloma annuum* (L.) Dumort), *Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen.). Проведено їх типологізацію за шляхами поширення (анемохорні, антропохорні, барохорні тощо), ступенем натуралізації (епекофіти, агріофіти, ергазіофіти) та екологічною небезпекою.

Наукова новизна полягає в уточненні складу експансивної частини урбанофлори Кременця, доповненні регіональних флористичних зведень, вперше створених картосхемах поширення ключових інвазійних видів на локальному рівні.

Практична значущість дослідження полягає у формуванні науково обґрунтованої основи для флористичного моніторингу, виявлення фітонебезпечних територій, а також для розроблення природоохоронних заходів щодо обмеження поширення небажаних чужорідних видів у межах урбоекосистем.

Ключові слова: інвазивні види, синантропна флора, урбанізовані екосистеми, біологічні інвазії, картографування ареалів.

EXPANSIVE ALIEN PLANT SPECIES OF THE URBAN FLORA OF THE CITY OF KREMENETS AND ITS SURBURBS AND THEIR DISTRIBUTION MAPS

O. K. Halahan, I. M. Mykhalyuk, N. I. Tsitsyura, O. B. Bondar, I. M. Halahan

The aim of the article is to identify expansive alien species within the urban flora of the city of Kremenets and its surroundings, to analyze their dispersal mechanisms, level of naturalization, and to create distribution maps within the study area.

The study employs both theoretical and practical methods. The theoretical methods involved the analysis of literature sources, followed by their systematization and generalization. Practical methods included field surveys and subsequent data processing. Fieldwork was conducted during the vegetation periods of 2010–2024, using a route-diagnostic method as the primary approach. The classification of alien species follows the system proposed by Jan Kornaš, improved by V.V. Protopopova.

As a result, more than 20 expansive alien species were identified in the urban flora of Kremenets, with a dominance of kenophytes of North American origin. The most actively spreading species include *Solidago canadensis* L., *Ambrosia artemisiifolia* L., *Heraclеum sosnowskyi* Manden., *Heraclеum mantegazzianum* S. et L., *Reynoutria sachalinensis* (Fr. Schmidt) Nakai, *Phalacroloma annuum* (L.) Dumort, and *Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen. These species were classified according to their dispersal mechanisms (anemochorous, anthropochorous, barochorous, etc.), degree of naturalization (epheophytes, agriophytes, ergasiophytes), and ecological risk.

The scientific novelty of the study lies in the clarification of the composition of the expansive component of Kremenets' urban flora, the contribution to regional floristic data, and the creation of local-scale distribution maps of key invasive species for the first time.

The practical significance of the study consists in providing a scientifically grounded basis for floristic monitoring, identifying phytodangerous areas, and developing conservation measures aimed at limiting the spread of undesirable alien species within urban ecosystems.

Key words: invasive species, synanthropic flora, urbanized ecosystems, biological invasions, range mapping.

Вступ

У сучасних умовах глобалізації, урбанізації та кліматичних змін зростає екологічна загроза, пов'язана з поширенням адвентивних і, зокрема, інвазійних видів рослин, які активно заселяють антропогенно трансформовані території. Особливо актуальною ця проблема є для малих історичних міст з розвиненою транспортною інфраструктурою, аграрним оточенням і ослабленими природними фітоценозами. Кременець і його околиці є показовим прикладом середньо-

європейського урбанізованого осередку з високою флористичною різноманітністю, в якому чітко простежується тенденція до розширення ареалів інтродукованих видів.

Проблематика інвазійних видів набула глобальної актуальності, що зумовило створення низки спеціалізованих інформаційних ресурсів, зокрема баз даних NOBANIS і DASIE, а також формування міжнародних дослідницьких спільнот, як-от NEOBIOTA. У відповідь на зростання загрози біологічних інвазій було розроблено національні

стратегії боротьби з інвазійними видами та засновано дві ключові міжнародні організації – Глобальну програму з інвазійних видів (GISP) і Групу спеціалістів з інвазійних видів (ISSG), що функціонує в межах Міжнародного союзу охорони природи (МСОП) (Климишин і Проць, 2014; Global Strategy ..., 2001; Калинчук, 2022).

Вивчення фітоінвазій інтенсивно розвивається також і в Україні. Значний внесок мали праці таких вчених, як В.В. Протопопова, Р.І. Бурда, С.А. Мосякін, М.В. Шевера, В.К. Тохтарь, А.М. Губарь, А.А. Куземко, О.С. Абдулоєва та інших (Протопопова та ін., 2002; Бурда, 1996; Абдулоєва і Карпенко, 2009; Вихор і Проць, 2014; Бурда та ін., 2014; Коваленко, 2021 тощо).

Актуальні проблеми фітоінвазій уже вчетверте обговорюються на Всеукраїнській науковій конференції «Синантропізація рослинного покриву України» (Синантропізація, 2019, 2024).

Мета дослідження: виявити, схарактеризувати та картографувати експансивні адвентивні види у складі урбанофлори м. Кременця та його околиць, а також проаналізувати їх поширення, екологічні стратегії та потенційну загрозу для природних й антропогенно трансформованих екосистем.

Завдання дослідження: проаналізувати наукові джерела щодо особливостей поширення адвентивних та інвазійних видів в урбанізованих територіях, скласти список експансивних адвентивних видів, поширених на території м. Кременця та його околиць, визначити їх походження, час занесення, ступінь натуралізації та способи поширення, оцінити екологічну роль і потенційну шкоду, яку ці види можуть завдати місцевим фітоценозам, створити картосхеми поширення найбільш агресивних видів на досліджуваній території та надати рекомендації щодо моніторингу, запобігання подальшій експансії та локалізації потенційно небезпечних чужорідних видів.

Матеріал і методи

Під час вивчення адвентивних видів рослин на території досліджень були використані теоретичні та практичні методи. Теоретичні передбачали аналіз літературних джерел із подальшою їх систематизацією та узагальненням. Практичні стосувалися польових досліджень та камерального оброблення даних. Польові дослідження проводилися протягом 2010–2024 років, у періоди вегетації рослин як основний використовувався маршрутно-діагностичний метод.

Номенклатуру видів подано за Vascular plants of Ukraine. A nomenclatural checklist (Mosyakin & Fedoronchuk, 1999). Під час аналізу антропогенної трансформації фітобіоти м. Кременця ми користувалися класифікацією Я. Корнася (Kornas, 1968), удосконаленою В.В. Протопоповою (Протопопова, 1973), оскільки, на наш погляд, вона є зручною в користуванні та характеризує час занесення і ступінь натуралізації. Схема фізико-географічного районування України за О.М. Мариничем та ін. (Маринич та ін., 2003).

Результати

Адвентивні (лат. adventicus – випадковий, зайшлий), або чужорідні рослини – це рослини, які з'явилися у новій для них місцевості або занесені людиною.

Натепер у фітобіоті м. Кременця та його околиць виявлено 224 види адвентивних рослин, що належать до 45 родин і 154 родів.

На початку наших досліджень звертав на себе увагу факт відсутності такого агресивного неофіту, як *Ambrosia artemisiifolia* L. На території України вперше виявлено даний вид бур'яну в 1914 році в селі Кудашівка (нині – Дніпропетровська область), де його культивував німецький агроном як альтернативу дорогій хіні. У межах Київської області перші знахідки цього виду зафіксовано в 1925 році. У Тернопільській області амброзію вперше зареєстровано в 2002 році в Борщівському районі, а у 2006 році – у Підволочиському районі. Ми прогнозували, що в недалекому майбутньому цей карантинний бур'ян буде інтенсивно поширюватися в сусідні райони й надалі (Галаган, 2010, 2011). І вже влітку 2007 року амброзія полинолиста на стадії цвітіння була виявлена в м. Кременці на межі поля й лісу. Існує висока ймовірність, що насіння цього небезпечного карантинного бур'яну було занесене на територію регіону автотранспортом, який використовується для перевезення фруктів і овочів із південних областей України. У 2025 році амброзія швидко поширилася на території дослідження, але найбільше її на закрайках полів на околицях міста, де вирощують соняшник.

Також зовсім нещодавно, кілька років тому з'явився такий адвент, як *Portulaca oleracea* L., який починає вегетувати лише в середині літа, але поширюється дуже швидко.

Адвентивні види, що перебувають у стадії експансії на території дослідження, показані в таблиці 1.

Таблиця 1

Адвентивні види, що перебувають у стадії експансії на території м. Кременця та його околиць

№п	Назва виду	Походження	Час занесення	Натуралізація	Поширення
1.	Золотушник канадський (<i>Solidago canadensis</i> L.)	пн.-амер.	кенофіт	епекофіт	анемохор
2.	Амброзія полинолиста (<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.)	пн.-амер.	кенофіт	епекофіт	барохор, агестохор
3.	Борщівник Сосновського (<i>Heracleum sosnowskyi</i> Manden.)	кавказьке	кенофіт	агріофіт	анемохор, антропохор
4.	Борщівник Мантегацці (<i>Heracleum mantegazzianum</i> S. et L.)	кавказьке	кенофіт	агріофіт	анемохор, антропохор
5.	Злинка однорічна (<i>Phalacroloa annuum</i> (L.) Dumort)	пн.-амер.	кенофіт	агріофіт	анемохор
6.	Злинка канадська (<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.)	пн.-амер.	кенофіт	епекофіт	анемохор, антропохор
7.	Галінсога дрібноцвіта (<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.)	пн.-амер.	кенофіт	агріоепекофіт	анемохор, епізоохор
8.	Робінія звичайна, або біла акація (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	пн.-амер.	кенофіт	ергазіофіт	автохор
9.	Рейнуртрія сахалінська <i>Reynoutria sachalinensis</i> (Fr. Schmidt) Nakai	східно-азійське	кенофіт	ергазіофіт	автохор, антропохор
10.	Рейнуртрія богемська <i>Reynoutria × bohemica</i> (Chrtek & Chrtková) J.P. Bailey	гібридне	кенофіт	ергазіофіт	антропохор
11.	Розрив-трава дрібноквіткова (<i>Impatiens parviflora</i> DC)	азійське	кенофіт	агріофіт	автохор, механохор
12.	Нетреба звичайна (<i>Xanthium strumarium</i> L.)	ірано-туранське	археофіт	епекофіт	епізоохор, гідрохор, агестохор
13.	Клен ясенелистий (<i>Acer negundo</i> L.)	пн.-амер.	кенофіт	агріофіт	анемохор, антропохор
14.	Щириця загнута (<i>Amaranthus retroflexus</i> L.)	пн.-амер.	кенофіт	агріоепекофіт	барохор
15.	Свербіга східна (<i>Bunias orientalis</i> L.)	середземн.	кенофіт	епекофіт	агестохор, спейрохор
16.	Герань сибірська (<i>Geranium sibiricum</i> L.)	східно-азійське	кенофіт	епекофіт	автохор, зоохор
17.	Чорнощир нетреболистий (<i>Cyclachaena xanthiifolia</i> (Nutt.) Fresen.)	пн.-амер.	кенофіт	епекофіт	барохор, агестохор
18.	Переступень білий (<i>Bryonia alba</i> L.)	ірано-туранське	кенофіт	ергазіофіт	барохор
19.	Ваточник сирійський (<i>Asclepias syriaca</i> L.)	пн.-амер.	кенофіт	епекофіт	анемохор
20.	Їжакоплідник виткий (<i>Echinocystis lobata</i> (Michaux) Torr. & A. Gray)	пн.-амер.	кенофіт	ергазіофіт	барохор
21.	Ячмінь гривастий (<i>Hordeum jubatum</i> L.)	пн.-амер.	кенофіт	ергазіофіт	епізоохор
22.	Портулак городній (<i>Portulaca oleracea</i> L.)	ірано-туранське	кенофіт	ергазіофіт	барохор, антропохор
23.	Тладіанта сумнівна (<i>Thladiantha dubia</i> Bunge)	східно-азійське	кенофіт	ергазіофіт	автохор, антропохор
24.	Сумах оленерогий (<i>Rhus typhina</i> L.)	пн.-амер.	кенофіт	ергазіофіт	епізоохор

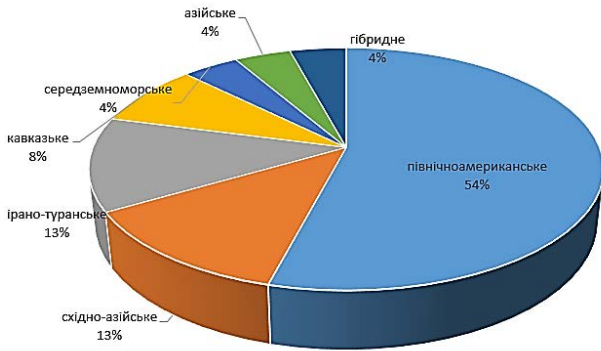


Рис. 1. Експансивні адвентивні види рослин м. Кременця та його околиць за походженням

Походження експансивних адвентивних рослин м. Кременця та його околиць представлено на рисунку 1. Більша половина – це види з Північної Америки (54,1%), по 12,5% припадає на ірано-туранське та східно-азійське походження, кавказьке – 8,3% і по 4,2% припадає на середземноморське, азійське та гібридне.

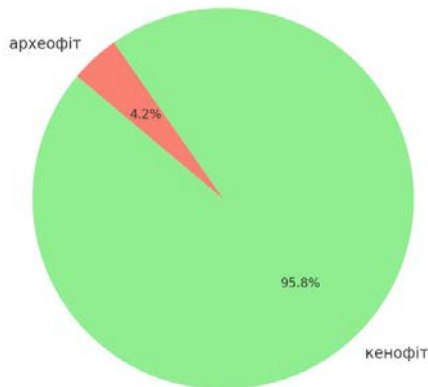


Рис. 2. Експансивні адвентивні види рослин м. Кременця та його околиць за часом занесення

За часом занесення майже всі види (95,8%) експансивних адвентів є кенофітами і лише 4,2% – археофіти. Це свідчить про те, що більшість інвазійних видів є порівняно новими для регіону, їх експансія пов'язана із сучасними глобальними процесами: урбанізацією, розвитком транспорту, аграрною діяльністю.

Розподіл видів за типом натуралізації показано на рисунку 3. Встановлено, що в м. Кременці та його околицях найчисельнішою є група епекофітів – 10 видів (приспосовані до порушених біотопів, особливо антропогенних), що є характерним для всієї території України (Протопопова та ін., 2002). Через певний час вони можуть утво-

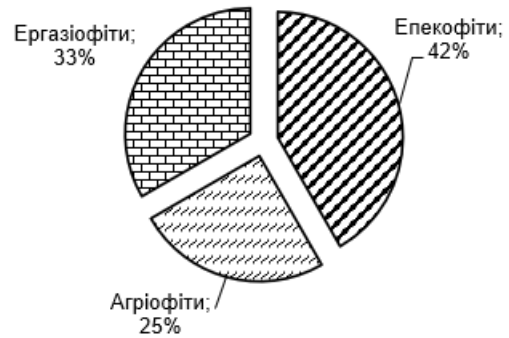


Рис. 3. Експансивні адвентивні види рослин м. Кременця та його околиць за натуралізацією

рювати малорухливі колонії або клони (т.з. «колонофіти»). Це – *Galinsoga parviflora* Cav., *Cyclachaena xantiifolia* (Nutt.) Fresen, *Solidago canadensis* L., *Ambrosia artemisiifolia* L. тощо.

Другою групою є ергазіофіти (культурні рослини, які втекли з культивування і натуралізувалися), що складаються з 8 видів. До них відносяться – *Reynoutria sachalinensis* (Fr. Schmidt) Nakai., *Impatiens glandulifera* Royle, *Robinia pseudoacacia* L., *Bryonia alba* L., *Hordeum jubatum* L. та інші. Агріофіти (натуралізувалися в природних і напівприродних місцях) налічують 6 видів (*Heracleum mantegazzianum* S. et L., *Phalacrolooma annuum* (L.) Dumort, *Impatiens parviflora* DC. та інші).

Найбільшу частку займають епекофіти, що є типовими для урбанофлори – вони активно ростуть уздовж доріг, на пустирях, біля забудови. Ергазіофіти – це здебільшого декоративні або кормові рослини, що вийшли за межі культурних насаджень.

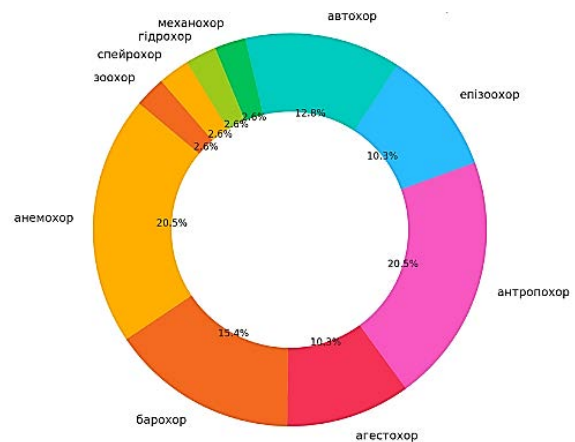


Рис. 4. Експансивні адвентивні види рослин м. Кременця та його околиць за способом поширення

З рисунка 4 видно, що переважає анемохорне поширення (вітром) – характерне для більшості бур'янів, особливо з дрібним насінням (*Solidago*, *Conyza*, *Ambrosia*). Антропохорне поширення (через діяльність людини) також має високу частоту – це типовий шлях для інвазійних видів у містах.

За допомогою методу картосхем із сіткою квадратів розміром 500 м вдалося простежити просторове поширення всіх адвентивних видів на території м. Кременець та прилеглих околиць. Приклад та відповідні картосхеми наведено нижче.

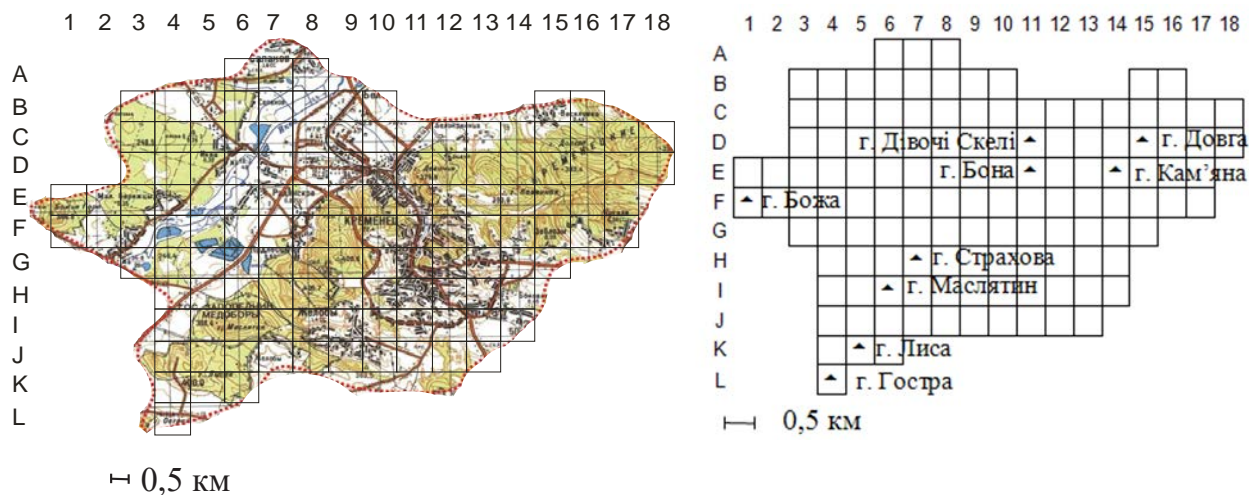
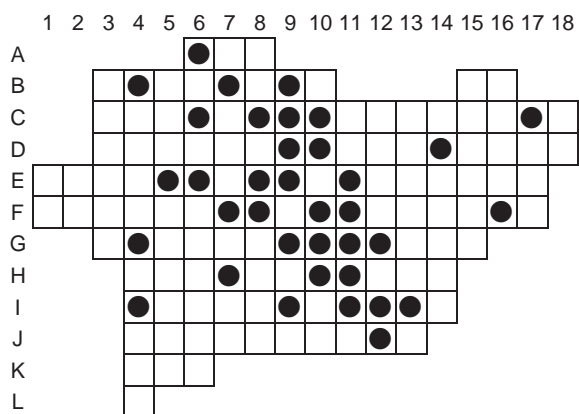


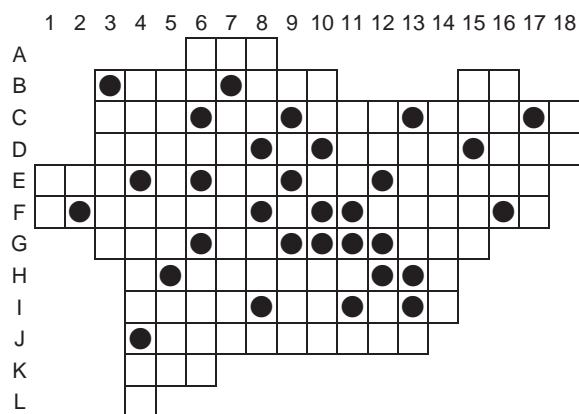
Рис. 5. Карта картосхеми м. Кременця та його околиць

**Картосхеми поширення експансивних адвентивних видів рослин
 м. Кременця та його околиць**

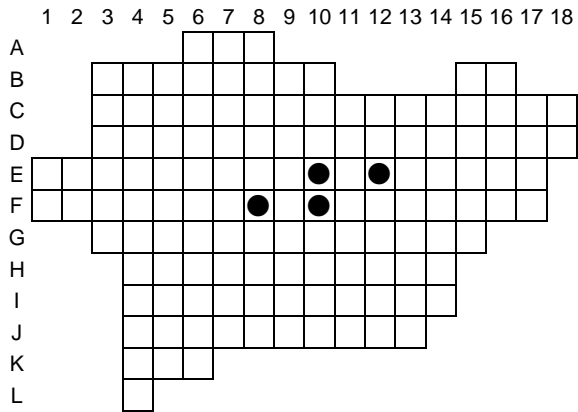
Amaranthus retroflexus L.



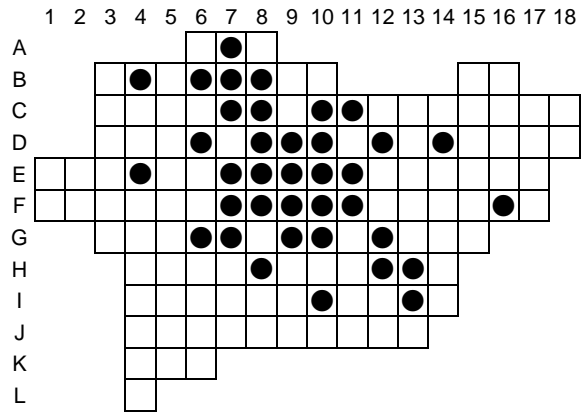
Acer negundo L.



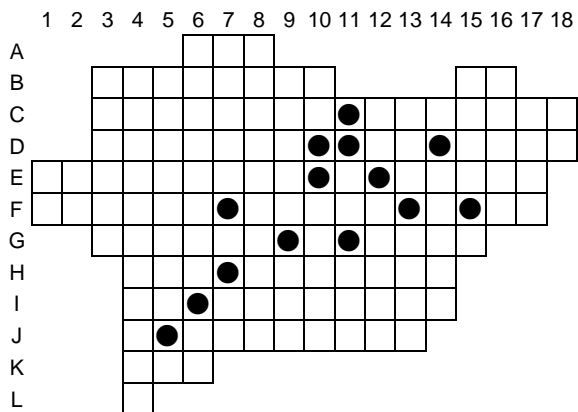
Reynoutria bohemica (Chrtek & Chrtkova) J.P. Bailey



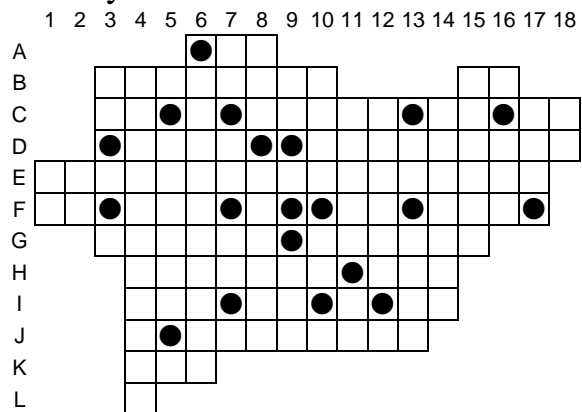
Reynoutria sachalinensis (Fr.Schmidt) Nakai



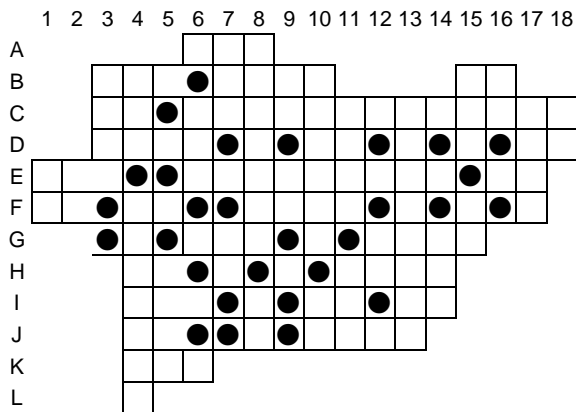
Bryonia alba L.



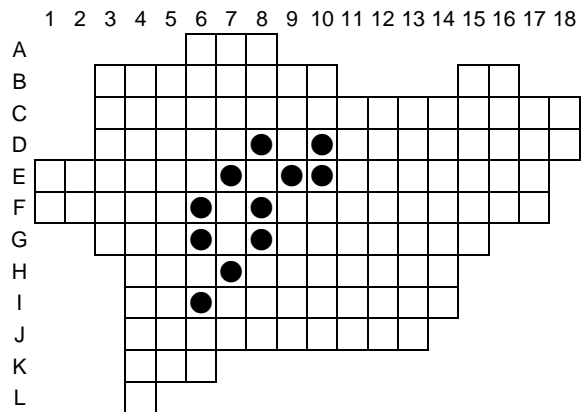
Echinocystis lobata (Michaux) Torr. s A. Gray



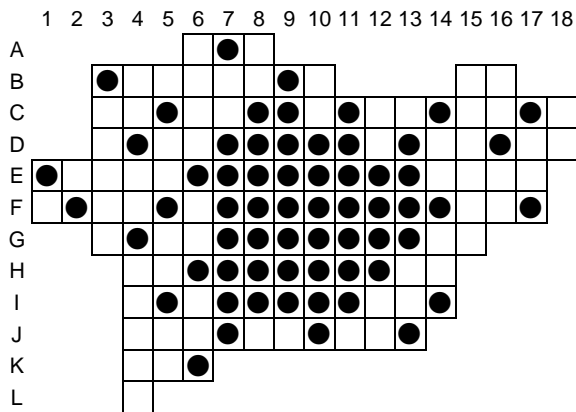
Bunias orientalis L.



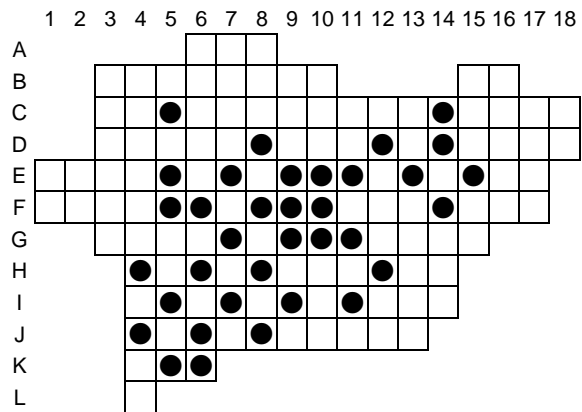
Ambrosia artemisiifolia L.



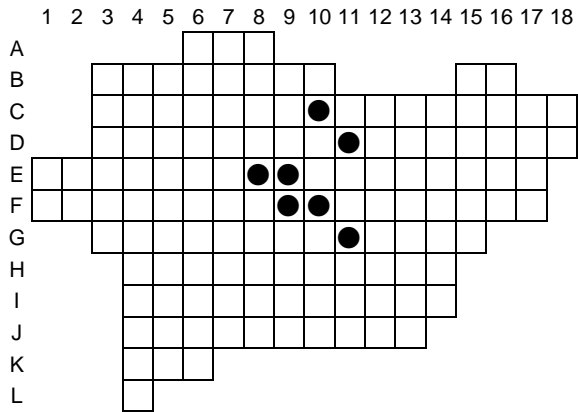
Robinia pseudoacacia L.



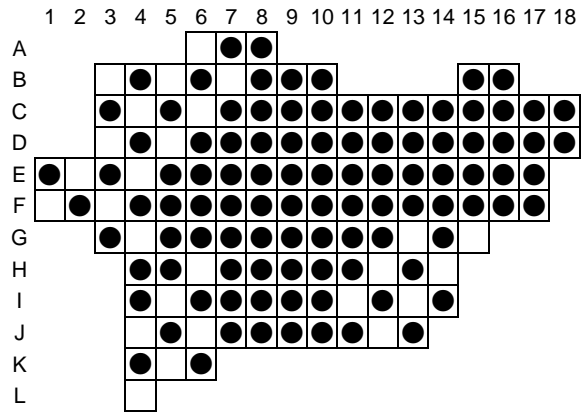
Rhus typhina L.



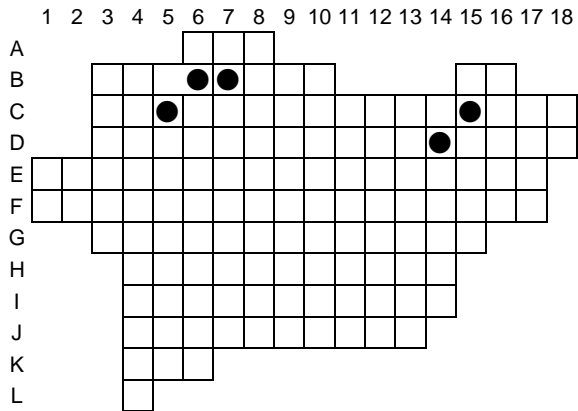
Thladiantha dubia Bunge



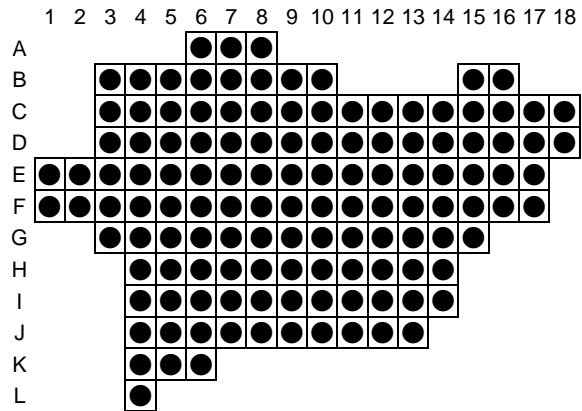
Geranium sibiricum L.



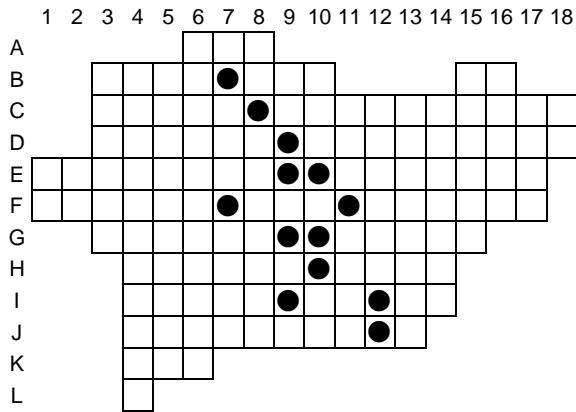
Asclepias syriaca L.



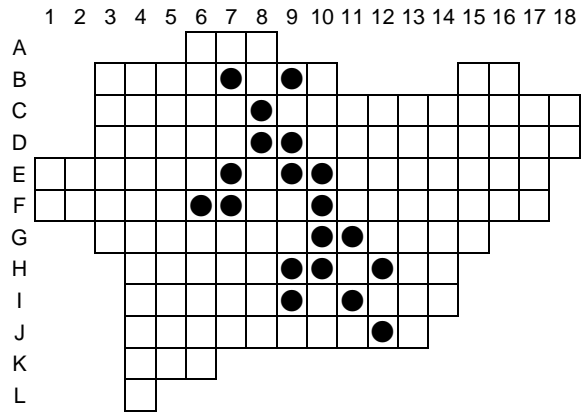
Impatiens parviflora DC



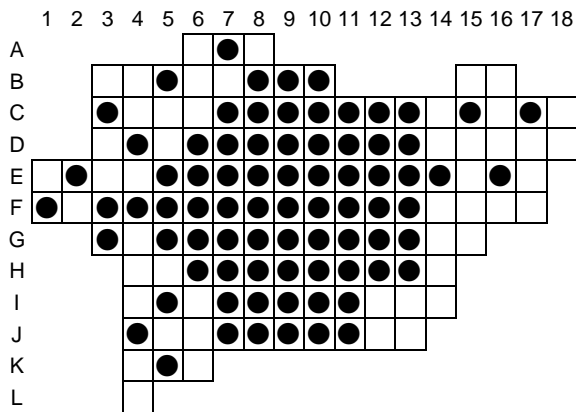
***Heracleum mantegazzianum* Somier et
 Levier**



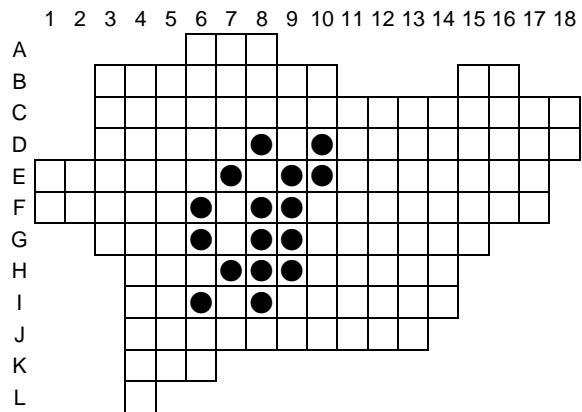
***Heracleum sosnowskyi* Manden.**



***Cyclachaena xantiifolia* (Nutt.) Fresen.**

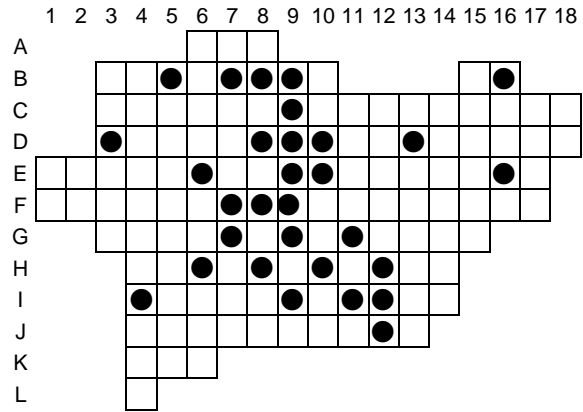
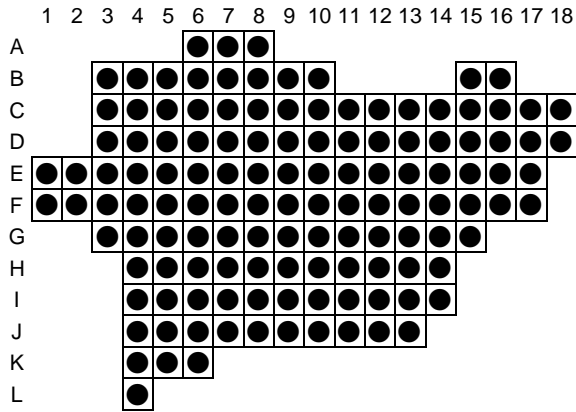


***Portulaca oleracea* L.**



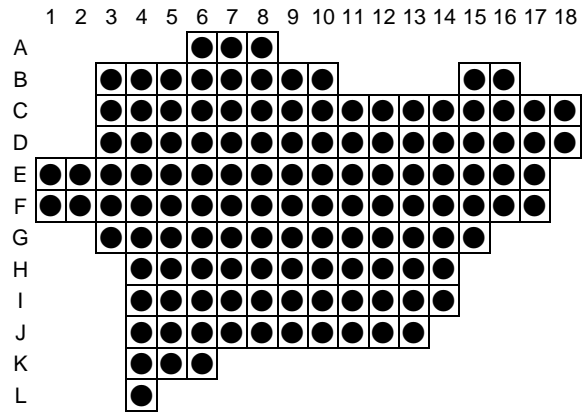
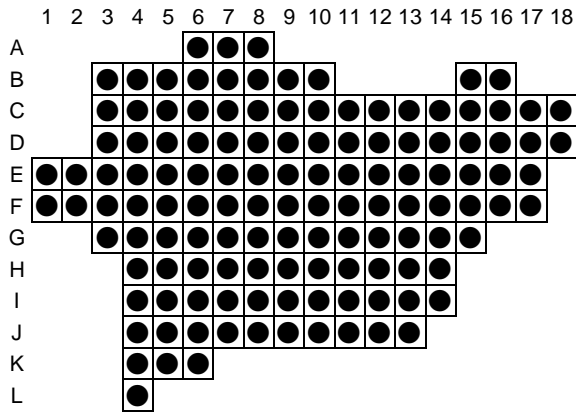
***Galinsoga parviflora* Cav.**

***Hordeum jubatum* L.**



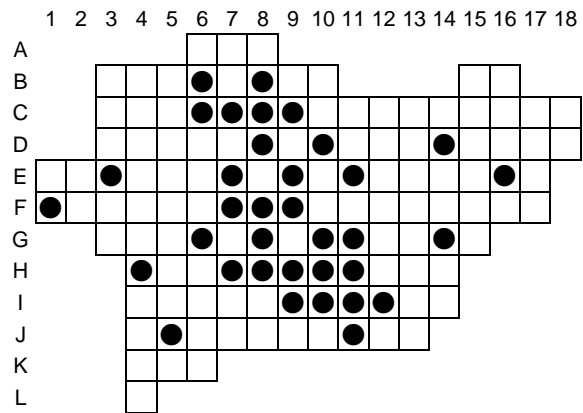
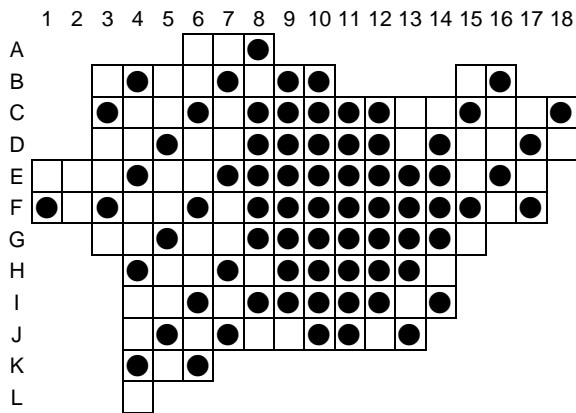
Phalacrolooma annuum (L.) Dumort

Conyza canadensis (L.) Cronq.



Solidago canadensis L.

Xanthium strumarium L.



Обговорення

Інвазійні види становлять серйозну загрозу для біорізноманіття та функціонування екосистем. Активізація міжнародної торгівлі, туризму та транспортних перевезень значно посприяла розширенню ареалів рослин, з яких близько 10% набувають інвазійного статусу (Kotowska et al., 2021). Біологічні інвазії визнані одним із провідних чинників втрати біорізноманіття на глобальному рівні. Адвентивні види негативно впливають на стабільність як природних, так і природно-антропогенних екосистем, спричиняючи їх дестабілізацію, витіснення аборигенних видів і навіть зникнення окремих таксонів. Крім того, вони мають прямий та опосередкований вплив на економіку, зокрема на сільське та лісове господарство, а також на здоров'я людини (Михалюк та ін., 2017; Гафіяк і Симочко, 2023). В умовах України, яка характеризується високою флористичною унікальністю, інвазійні види створюють помітний тиск на аборигенну флору, наразі становлячи близько 14% від загального складу судинних рослин (Вихор і Проць, 2014).

Збір даних щодо поширення адвентивних видів є вкрай важливим завданням досліджень процесів антропогенної трансформації флори та рослинності (Roy et al., 2018).

Біогеографічна інформація щодо алохтонних елементів біоти є основою для розуміння масштабів інвазій, їх хронологічної реконструкції, а також для розроблення заходів з обмеження наслідків експансивного поширення неаборигенних рослин (August et al., 2015).

Висновки

Натуралізація *Heracleum mantegazzianum* S. et L. та *Reynoutria sachalinensis* (Fr. Schmidt) Nakai має негативні наслідки, оскільки ці види демонструють інтенсивне щорічне розширення ареалів. *Phalacrolooma annuum* (L.) Dumort своєю чергою варто виокремити як один із найагресивніших сеgetальних бур'янів у складі фітобіоти м. Кременця. Серед адвентивних видів небажаними є також ті, що поширюються на пасовищах, маючи низьку або відсутню кормову цінність, зокрема отруйні або колючі види, котрі активно експансують упродовж останніх двох століть (*Xanthium strumarium* L., *Cyclachaena xanthifolia* (Nutt.) Fresen.). Особливу екологічну загрозу становлять також види з алергенним пилом, зокрема *Rhus typhina* L. та *Ambrosia artemisiifolia* L.

Оскільки адвентивні види насамперед проникають у порушені фітоценози, їх екологічні ніші на глобальному рівні поступово розширюються. Цей процес має тенденцію до необмеженого поширення, що робить його практично незворотним. З огляду на це надзвичайно актуальним є завдання мінімізації негативного впливу інтродукованих видів на місцеві екосистеми. Для досягнення цього необхідно здійснювати систематичні спостереження за адвентивними рослинами, досліджувати їх екологію, адаптаційні стратегії та чинники, що сприяють їх подальшій експансії. Важливим на державному рівні є створення ефективної системи екологічного моніторингу заносних видів рослин, яка б забезпечувала своєчасне виявлення інвазій та реалізацію заходів з їх попередження або локалізації.

Список використаної літератури

- Абдулоєва О.С., Карпенко Н.І. Трапляння чужинних інвазійних рослин в синтаксонах рослинності України. *Чорноморський ботанічний журнал* 2009. Т. 5, № 2. С. 189–198.
- Бурда Р.І. Адвентивні північноамериканські рослини на Південному Сході України. *Екологія та ноосферологія*. 1996. Т. 2. № 3–4. С. 105–112.
- Бурда Р.І., Протопопова В.В., Шевера М.В., Голівець М.О. Чужорідні види флори України: роки і автори / Р.І. Бурда та ін. Київ, 2014. Випуск 2. 86 с.
- Вихор Б., Проць Б. Інвазійні види рослин Закарпаття : екологічна характеристика та динамічні тенденції поширення. *Біологічні студії*, 2014. № 8 (1). С. 171–186.
- Галаган О.К. Антропогенна трансформація фітобіоти міста Кременця та його околиць (Україна) за 200 років (від Бессера до наших днів) : автореф. дис. ...канд. біол. наук. Чернівці, 2010. 23 с.
- Галаган О.К. Фітоінвазії у фітобіоті м. Кременця та його околиць. *Наукові записки Тернопільського державного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Сер. Біол.* 2011. № 1 (46). С. 8–12.
- Гафіяк О.В., Симочко Л.Ю. Інвазійна флора антропогенно трансформованих екосистем Карпатського регіону. *Екологічні науки*. 2023. № 47. С. 154–161.

Калинчук Б.Б. Аналіз проблеми поширення інвазійного виду *H. sosnowskyi* Manden., можливі шляхи регулювання поширення та методи боротьби *Біологія та екологія*. 2022. Том 8. № 2. С. 41–50.

Климишин О.С., Проць Б.Г. Підходи до організації моніторингу фітоінвазій в Українських Карпатах. *Регіональні аспекти флористичних і фауністичних досліджень* : матеріали першої Міжнар. наук.-практ. конф., 10–12 квіт. 2014 р. Хотин. Чернівці, 2014. С. 19–21.

Коваленко О. Рослини-прибульці. Як борщівник та амброзія захоплюють Землю. Київ : Віхола, 2021. 256 с.

Маринич О.М., Пархоменко Г.О., Петренко О.М., Шищенко П.Г. Удосконалена схема фізико-географічного районування України / О.М. Маринич та ін. *Український географічний журнал*. 2003. № 1. С. 16–20.

Михалюк І.М., Галаган О.К., Дух О.І. Екобіологічні загрози поширення видів роду *Hieracium* на території міста Кременця Тернопільської області. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2017. № 7 (4). С. 506–510. https://doi.org/10.15421/2017_152.

Протопопова В.В. Адвентивні рослини Лісостепу і Степу України. Київ : Наук. думка, 1973. 188 с.

Протопопова В.В., Мосякін С.Л., Шевера М.В. Фітоінвазії в Україні як загроза біорізноманіттю: сучасний стан і завдання на майбутнє. Київ : Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, 2002. 32 с.

Синантропізація рослинного покриву України. III Всеукраїнська наукова конференція, 26–27 вересня 2019 року, м. Київ. Збірник наукових статей. Київ : Наш формат, 2019. 184 с.

Синантропізація рослинного покриву України: IV Всеукраїнська наукова конференція (11–12 вересня 2024 р., м. Київ, м. Біла Церква). Збірник наукових статей. Київ, 2024. 185 с. [Електронний ресурс] URL: https://www.botany.kiev.ua/doc/conf_synanth_2024_zbirnik.pdf (дата звернення: 19.07.2025).

August T., Harvey M., Lightfoot P., Kilbey D., Papadopoulos T., Jepson P. Emerging technologies for biological recording. *Biological Journal of the Linnean Society*. 2015. 115(3). P. 731–749. <https://doi.org/10.1111/bij.12534>.

Global Strategy on Invasive Alien Species. Convention of Biological Diversity, SBSTTA Sixth Meeting. Montreal, 2001. 52 p.

Kornas J. Geographically historical classification of synanthropic plants. Warsaw, 1968. Vol. 25. P. 33–41.

Kotowska D., Pärt T., Żmihorski M. Evaluating Google Street View for tracking invasive alien plants along roads. *Ecological Indicators*. 2021. № 121, 107020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107020>.

Mosyakin S.L., Fedoronchuk M.M. Vascular Plants of Ukraine. A Nomenclatural Checklist. Kyiv : M.G. Kholodny Institute of Botany, 1999. 345 p.

Roy H. et al. Increasing understanding of alien species through citizen science (Alien-CSI). *Research Ideas and Outcomes*, 2018. 4. e31412. <https://doi.org/10.3897/rio.4.e31412>.

References

Abduloieva, O.S., & Karpenko, N.I. (2009). Traplennia chuzhynnykh invaziinykh roslyn v syntaksonakh roslynnosti Ukrainy [Occurrence of alien invasive plants in syntaxa of Ukraine's vegetation]. *Chornomorskyi botanichnyi zhurnal [Black Sea Botanical Journal]*, 5(2), 189–198 [in Ukrainian].

Burda, R.I. (1996). Adventywni pivnichnoamerykanski roslyny na Pivdennomu Skhodi Ukrainy [Adventive North American plants in the southeastern Ukraine]. *Ekolohiia ta noosferolohiia [Ecology and noosphereology]*, 2(3–4), 105–112 [in Ukrainian].

Burda R.I., Protopopova V.V., Shevera M.V., & Holivets M.O. (2014). Chuzhoridni vydy flory Ukrainy: roky i avtory. Bibliografichni pokazhchyk. Vypusk 2. [Alien species of flora of Ukraine: years and authors. Issue 2]. Kyiv : [in Ukrainian].

Vykhov, B., & Prots, B. (2014). Invaziini vydy roslyn Zakarpattia: ekolohichna kharakterystyka ta dynamichni tendentsii poshyrennia [Invasive plant species of Zakarpattia: ecological characteristics and distribution trends]. *Biologichni studii [Biological studies]*, 8(1), 171–186 [in Ukrainian].

Halahan, O.K. (2010). *Antropohenna transformatsiia fitobioty mista Kremenetsia ta ioho okolyts (Ukraina) za 200 rokiv (vid Bessera do nashykh dnyv)* [Anthropogenic transformation of the phytobiota of the town of Kremenets and its surroundings (Ukraine) over 200 years (from Besser to the present)] (Author's abstract of Candidate's thesis in Biology). Chernivtsi. 23 p [in Ukrainian].

Halahan, O.K. (2011). Fitoinvazii u fitobioti m. Kremenetsia ta ioho okolyts [Plant invasions in the phytobiota of the town of Kremenets and its surroundings]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu im. Volodymyra Hnatiuka. Serii: Biolohiia* [Scientific notes of the Volodymyr Hnatyuk Ternopil State Pedagogical University. Biology Series], (1[46]), 8–12 [in Ukrainian].

Hafiak, O.V., & Symochko, L.Yu. (2023). Invaziina flora antropohenno transformovanykh ekosystem Karpatskoho rehionu [Invasive flora of anthropogenically transformed ecosystems of the Carpathian region]. *Ekolohichni nauky* [Environmental sciences], 47, 154–161 [in Ukrainian].

Kalynchuk, B.B. (2022). Analiz problemy poshyrennia invaziinoho vydu *Heracleum sosnowskyi* Manden., mozhyvi shliakhy rehuliuвання poshyrennia ta metody borotby [Analysis of the spread of the invasive species *Heracleum sosnowskyi* Manden., possible regulation paths and control methods]. *Biolohiia ta ekolohiia* [Biology and ecology], 8(2), 41–50 [in Ukrainian].

Klymyshyn, O.S., & Prots, B.H. (2014). Pidkhody do orhanizatsii monitorynhu fitoinvazii v Ukrainykykh Karpatakh [Approaches to organizing monitoring of plant invasions in the Ukrainian Carpathians]. In *Rehionalni aspekty florystychnykh i faunistychnykh doslidzhen: Materialy Pershoi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* (pp. 19–21). Khotyn–Chernivtsi. [in Ukrainian].

Kovalenko, O. (2021). Roslyny- prybultsi. Yak borshchivnyk ta ambroziia zakhopliuiut Zemliu [Alien plants: How *Heracleum* and *Ambrosia* conquer the Earth]. Kyiv: Vikhola [in Ukrainian].

Marynych, O.M., Parkhomenko, H.O., Petrenko, O.M., & Shyshchenko, P.H. (2003). Udoskonalena skhema fizyko-heohrafichnoho raionuvannya Ukrainy [Improved scheme of physical-geographical zoning of Ukraine]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal* [Ukrainian Geographical Journal], (1), 16–20 [in Ukrainian].

Mykhaliuk, I.M., Halahan, O.K., & Dukh, O.I. (2017). Ekobiolohichni zahrozy poshyrennia vydiv rodu *Heracleum* na terytorii mista Kremenetsia Ternopilskoi oblasti [Ecobiological threats of *Heracleum* species spread in Kremenets, Ternopil region]. *Ukrainskyi ekolohichnyi zhurnal* [Ukrainian Journal of Ecology], 7(4), 506–510. https://doi.org/10.15421/2017_152 [in Ukrainian].

Protopopova, V.V. (1973). *Adventyuni roslyny Lisostepu i Stepu Ukrainy* [Adventive plants of the Forest-Steppe and Steppe zones of Ukraine]. Kyiv : Naukova dumka [in Ukrainian].

Protopopova, V.V., Mosiakin, S.L., & Shevera, M.V. (2002). *Fitoinvazii v Ukraini yak zahroza bioriznomanittiu: suchasnyi stan i zavdannia na maibutnie* [Plant invasions in Ukraine as a threat to biodiversity: Current state and future tasks]. Kyiv : Instytut botaniky im. M. H. Kholodnoho NAN Ukrainy [in Ukrainian].

Synantropizatsiia roslynnoho pokryvu Ukrainy. (2019). III Vseukrainska naukova konferentsiia, 26–27 veresnia 2019 roku, m. Kyiv. *Zbirnyk naukovykh statei* [Synanthropization of vegetation cover in Ukraine: Proceedings of the 3rd Ukrainian Scientific Conference]. Kyiv: Nash Format [in Ukrainian].

Synantropizatsiia roslynnoho pokryvu Ukrainy. (2024). IV Vseukrainska naukova konferentsiia, 11–12 veresnia 2024 r., m. Kyiv, m. Bila Tserkva. *Zbirnyk naukovykh statei* [Synanthropization of vegetation cover in Ukraine: Proceedings of the 4th Ukrainian Scientific Conference]. Kyiv: [no publisher]. Retrieved from [Electronic resource] https://www.botany.kiev.ua/doc/conf_synanth_2024_zbirnik.pdf (access date 19.07.2025) [in Ukrainian].

August, T., Harvey, M., Lightfoot, P., Kilbey, D., Papadopoulos, T., & Jepson, P. (2015). Emerging technologies for biological recording. *Biological Journal of the Linnean Society*, 115(3), 731–749. <https://doi.org/10.1111/bij.12534> [in English].

Global Strategy on Invasive Alien Species (2001). Convention of Biological Diversity, SBSTTA Sixth Meeting. Montreal: 52 p. [in English].

Kornas, J. (1968). Geographically historical classification of synanthropic plants. *Warsaw*, 25, 33–41 [in English].

Kotowska, D., Pärt, T., & Żmihorski, M. (2021). Evaluating Google Street View for tracking invasive alien plants along roads. *Ecological Indicators*, 121, 107020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107020> [in English].

Mosyakin, S.L., & Fedoronchuk, M.M. (1999). *Vascular Plants of Ukraine: A Nomenclatural Checklist*. Kyiv : M.G. Kholodny Institute of Botany [in English].

Roy, H., Groom, Q., Adriaens, T., Agnello, G., Antic, M., Archambeau, A., Bacher, S., Bonn, A., Brown, P., Brundu, G., López, B., Cleary, M., Cogălniceanu, D., de Groot, M., De Sousa, T., Deidun, A., Essl, F., Fišer Pečnikar, Ž., Gazda, A., Gervasini, E., Glavendekic, M., Gigot, G., Jelaska, S., Jeschke, J., Kaminski, D., Karachle, P., Komives, T., Lapin, K., Lucy, F., Marchante, E., Marisavljevic, D., Marja, R., Martín Torrijos, L., Martinou, A., Matosevic, D., Mifsud, C., Motiejūnaitė, J., Ojaveer, H., Pasalic, N., Pekárik, L., Per, E., Pergl, J., Pesic, V., Pocock, M., Reino, L., Ries, C., Rozyłowicz, L., Schade, S., Sigurdsson, S., Steinitz, O., Stern, N., Teofilovski, A., Thorsson, J., Tomov, R., Tricarico, E., Trichkova, T., Tsiamis, K., van Valkenburg, J., Vella, N., Verbrugge, L., Vėtek, G., Villaverde, C., Witzell, J., Zenetos, A., & Cardoso, A. (2018). Increasing understanding of alien species through citizen science (Alien-CSI). *Research Ideas and Outcomes*, 4, e31412. <https://doi.org/10.3897/rio.4.e31412> [in English].

Отримано: 28.07.2025
Прийнято: 19.08.2025
Опубліковано: 17.10.2025





УДК 591.412:597.551.4
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.4>

МОРФОЛОГІЯ СЕРЦЯ КЛАРІЄВОГО СОМА (*CLARIAS GARIEPINUS*)

А. П. Горальський¹, О. В. Овдіюк², Б. В. Гутий³

Одним із перспективних видів риб, що відносно нещодавно почав розводитись в Україні, є кларієвий сом (*Clarias gariepinus*) родини сомових. Це прісноводна, теплолюбна, усеїдна риба, що може дихати атмосферним повітрям.

Метою роботи є морфологічна оцінка макроскопічної будови серця кларієвого сома, дводишних хребетних (Chordata), класу Променепері (Actinopterygii), родини Кларієві, виду кларій нільський (*Clarias gariepinus*).

За використання морфологічних, морфометричних, статистичних методів досліджень представлені результати щодо будови серця кларієвого сома, які переконливо свідчать, що його морфологічна будова та морфотопографія у дводишних риб, у яких у процесі філогенетичного розвитку, окрім зябрового дихання, з'явилося і легеневе, відрізняються від таких у кісткових риб. Показано, що серце у кларієвого сома топографічно міститься у краніальній частині тулуба із черевного боку тіла, поблизу до голови, у трикутнику між кістками плечового пояса, у центрі між зябрами. Серце кларієвого сома побудоване з венозного синуса, передсердя, шлуночка й артеріального конуса, які розділені клапанами, що надає можливість рухатись крові тільки в одному напрямку – від венозного синуса до артеріального конуса, а не навпаки. Передсердя міститься справа від шлуночка, як відокремлена структура, у якій наявна неповна перегородка, яка частково поділяє передсердя на праву та ліву половинки (камери). Шлуночок серця – це порожнистий орган, який має видовжено-овальну форму. У шлуночку краніально знаходиться розширена основа, каудально – випукла верхівка. Артеріальний конус серця має розширену основу, яка прилягає до шлуночка, зворотна частина конуса звужена, що надає цій структурі конічної (лійкоподібної) форми. За результатами органомерії, лінійні показники складників серця різні й залежать від виконання ними функціонального навантаження під час ритмічних скорочень серцевого м'яза

¹ 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

² 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

³ доктор ветеринарних наук, професор,
професор, завідувач кафедри гігієни, санітарії та загальної ветеринарної
профілактики імені М.В. Демчука
(Львівський національний університет ветеринарної медицини
та біотехнологій імені С.З. Гжицького, м. Львів)
e-mail: bvh@ukr.net
ORCID: 0000-0002-5971-8776

за серцевого ритму, коли кров протікає по судинах і досягає всіх органів. Найбільші лінійні параметри – довжина, ширина та товщина, характерні для шлуночка серця. Отже, значно менші параметри таких лінійних показників властиві артеріальному конусу та передсердю. За індексом розвитку шлуночка серце у кларієвого сома визначається як звужено-видовжене.

Установлено, що товщина стінки шлуночка серця з усіх його анатомічних структур є найбільшою і становить $3,2 \pm 0,4$ мм. Достовірно меншою в 1,47 рази, порівняно зі стінкою шлуночка, є товщина артеріального конуса, найменшою (8,0) – товщина передсердя. Абсолютна та відносна маса шлуночка, артеріального конуса та передсердя серця корелює з їхніми лінійними параметрами: найбільша абсолютна маса характерна для шлуночка – $0,52 \pm 0,2$ г, потім для артеріального конуса – $0,21 \pm 0,03$ г, передсердя – $0,16 \pm 0,03$ г. За таких результатів морфометрії коефіцієнт відношення абсолютної маси шлуночка до абсолютної маси серця дорівнює $1 : 0,58$, коефіцієнт відношення абсолютної маси артеріального конуса до абсолютної маси серця – $1 : 0,24$, коефіцієнт відношення абсолютної маси передсердя до абсолютної маси шлуночків – $1 : 0,18$.

Дослідження структурних особливостей органів серцево-судинної системи є основою для іхтіологів-риводів, для проведення профілактики захворювань та за впливу на організм стресових і несприятливих чинників довкілля під час вирощування риби в аквакультури.

Ключові слова: хребетні тварини, серцево-судинна система, серце, шлуночок, передсердя, артеріальний конус, морфометрія.

HEART MORPHOLOGY OF THE CLARII CATFISH (*CLARIAS GARIEPINUS*)

L. P. Horalskyi, O. V. Ovdiuk, B. V. Gutyj

*One of the promising fish species that has relatively recently started to be farmed in Ukraine is the African catfish (*Clarias gariepinus*) from the catfish family. It is a freshwater, warm-water, omnivorous fish that can breathe atmospheric air.*

*The purpose of this study is the morphological evaluation of the macroscopic structure of the heart of the African catfish, a member of the class Actinopterygii, family Clariidae, species *Clarias gariepinus*.*

Using morphological, morphometric, and statistical research methods, the results regarding the heart structure of the African catfish are presented, which convincingly show that its morphological structure and morpho-topography in the bony fish, which during their phylogenetic development have evolved to breathe both through gills and lungs, differ from those in bony fishes. It is shown that the heart of the African catfish is topographically located in the cranial part of the body, on the ventral side, near the head in the triangle between the shoulder girdle bones, occupying a central position between the gills. The heart of the African catfish consists of the venous sinus, atrium, ventricle, and arterial cone, which are separated by valves, allowing blood to move only in one direction – from the venous sinus to the arterial cone and not vice versa. As a distinct structure, the atrium is located to the right of the ventricle, with an incomplete septum partially dividing the atrium into right and left halves (chambers). The ventricle of the heart is a hollow organ with an elongated oval shape. The cranial part of the ventricle has an expanded base, while the caudal part has a convex apex. The arterial cone of the heart has an expanded base, which adjoins the ventricle, and its opposite part is narrowed, giving the structure a conical (funnel-like) shape. According to organometry results, the linear dimensions of the heart components vary and depend on their functional load during the rhythmic contractions of the heart muscle in the cardiac rhythm, during which blood flows through the vessels to all organs. The ventricle's largest linear parameters – length, width, and thickness – are characteristic.

In contrast, the linear parameters of the arterial cone and atrium are significantly smaller. Based on the ventricular development index, the heart of the African catfish is classified as narrow-elongated.

It has been established that the thickness of the ventricle wall is the largest among all its anatomical structures, measuring $3,2 \pm 0,4$ mm. It is statistically 1,47 times thinner than the ventricle wall in the arterial cone and the smallest (8,0 times smaller) compared to the ventricle. The absolute and relative masses of the ventricle, arterial cone, and atrium correlate with their linear parameters: the greatest absolute mass is found in the ventricle – $0,52 \pm 0,02$ g, followed by the arterial cone – $0,21 \pm 0,03$ g, and the atrium – $0,16 \pm 0,03$ g.

According to these morphometric results, the coefficient of the ratio of the ventricle's absolute mass to the total heart mass is $1 : 0,58$, the ratio of the arterial cone's absolute mass to the total heart mass is $1 : 0,24$, and the ratio of the atrium's absolute mass to the total mass of the ventricles is $1 : 0,18$.

The study of the structural characteristics of the cardiovascular organs serves as a foundation for ichthyologists and fish farmers to conduct disease prevention and to mitigate the impact of stress and adverse environmental factors on the fish during aquaculture.

Key words: vertebrate animals, cardiovascular system, heart, ventricle, atrium, arterial cone, morphometry.

Вступ

Останніми роками в харчовій промисловості намітилася тенденція до збільшення обсягу виробництва тваринної продукції. Важлива роль відводиться галузі рибного господарства, яка включає добування, переробку, відтворення та збільшення запасів риби й інших водних організмів у природних і штучних водоймах. Водночас для отримання максимальних обсягів виробництва харчових рибних продуктів призначено вирощування риби в аквакультурі, що як напрям нині динамічно розвивається (Yu et al., 2020; Roobab et al., 2022; Hashemi et al., 2023).

Перевагами цього напряму є вирощування кларієвого сома, що пов'язано з його біологічними властивостями: невибагливістю до умов утримання, домінуванням росту та розвитку, витривалістю до захворювань, іншими особливостями, які зумовлюють невисоку собівартість, що має велике економічне значення (Ukagwu et al., 2017; Juin et al., 2017; Strauch et al., 2018; Truter et al., 2023).

У багатьох країнах кларієвий сом має досить велике економічне значення через швидкий темп росту, витривалість, усеїдність, здатність розмножуватися у штучних умовах і витримувати надщільні посадки, невибагливість до якісних показників води (Lawal et al., 2017; Baßmann et al., 2017; Zadorozhnii & Bekh, 2024).

Нині вирощування кларієвого сома у штучних умовах України – це надзвичайно новий напрям рибної галузі, який почав розвиватись відносно нещодавно (Задорожній і Бех, 2023; Zadorozhnii & Bekh, 2024).

Для успішного розвитку даної галузі, що включає підвищення продуктивних якостей, профілактики захворювань різноманітного генезу тощо, разом з організаційно-господарськими заходами, є необхідність здійснювати глибокі дослідження організму, морфологічної будови всіх органів і систем на органному, тканинному та клітинному рівнях (Muller & Marc, 1984; Olson, 1991; Gould et al., 2013).

Велика увага приділяється дослідженням структурних особливостей органів серцево-судинної системи, що має пізнавальне значення для біологів і є основою для іхтіологів-рибоводів, для проведення профілактики захворювань та за впливу на організм стресових і несприятливих

чинників довкілля під час вирощування риби в аквакультурі (Belão et al., 2011; Song & Song, 2012; Ghedotti et al., 2021).

Серцево-судинна система відіграє важливу роль у регуляції функцій органів і систем організму, бере участь у забезпеченні трофічної, дихальної та екскреторних функцій (Horalskyi et al., 2022; Horalskyi et al., 2023).

Завдяки серцево-судинній системі, яка є складником соматичного (великого) та легеневого (малого) кола кровообігу у ссавців, із кров'ю до тканин органів поступають поживні речовини, гормони, кисень, виводяться з них продукти обміну речовин (Svendensen et al., 2019; Horalskyi et al., 2023; Рагуля та ін., 2023).

Центральним органом серцево-судинної системи є серце. Саме завдяки скороченню кардіоміоцитів міокарда здійснюється течія крові в замкнутій системі кровоносних судинах, забезпечує таким чином газообмін речовин в організмі (Ben-Shachar et al., 1985; Horalskyi et al., 2022).

У кісткових риб м'язи передсердя та шлуночка серця, які скорочуються та розслабляються (почергово), сприяють руху крові по судинах (Spaink et al., 2014; Martins et al., 2021; Chan et al., 2022). Через серце риб тече венозна кров по великій артерії – аорті, вона рухається від серця до дрібних зябрових судин, де насичується киснем, тобто стає артеріальною.

У двоцихрибних риб, представником яких є кларієвий сом (*Clarias gariepinus*), наявна індивідуальна особливість морфологічної будови органів серцево-судинної системи, унаслідок появи в них, окрім зябрового дихання, ще й легеневого дихання атмосферним повітрям. Отже, метою дослідження є здійснення порівняльного оцінювання морфологічних структур серця у двоцихрибних риб на прикладі кларієвого сома.

Матеріал і методи

Дослідження виконано з дотриманням міжнародних засад Європейської конвенції щодо захисту хребетних тварин, які використовують в експерименті й інших наукових цілях (Страсбург, 1986 р.) та Правил проведення робіт з використанням експериментальних тварин, затверджених наказом МОЗ № 281 від 1 листопада 2000 р. «Про заходи щодо подальшого вдосконалення організаційних форм роботи з використанням експериментальних тварин», відповідного Закону України «Про

захист тварин від жорстокого поводження» № 3447–IV від 21 лютого 2006 р. Під час проведення експериментів на тваринах урахували вимоги щодо загальних правил належної лабораторної практики GLP (1981 р.) та положень «Загальних етичних принципів експериментів на тваринах», які затверджені першим Національним конгресом з біоетики (м. Київ, 2001 р.) (Рагуля та ін., 2023).

Кларієвого сома – *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) вирощували в домашніх умовах, з використанням штучно сформованих нами водних екосистем, які відповідали належним умовам (температурний режим, кислотність, солоність води) для утримання. Для вирощування риби використовували басейни (об'ємом до 500 л), які були обладнані належними технічними засобами та пристроями – системи механічної, біологічної та бактеріологічної фільтрації – Eheim Professional 3 1200XL (Німеччина), ультрафіолетові стерилізатори зовнішнього типу “Resun UV – 08”, 24 Вт. (Китай); компресори радіаторного типу “Resun ACO – 001” (Китай) для насичення води киснем. Приміщення з басейнами у світлу пору доби були затемнені.

Якість водного середовища для утримання риби, щільність її посадки відповідали вимогам щодо вирощування кларієвого сома (Nescht et al., 1996). Джерелом водопостачання була водопровідна вода, яка попередньо відстоювалась, прогрівалась до температури басейна та щодобово в кількості 10% від загального об'єму доливалась у басейн. Відповідну температуру (25–28°C) води контролювали та, за необхідності, підтримували нагрівачем зовнішнього типу “JBL ProTemp e500” (Німеччина), потужністю 500 Вт.

Гідрохімічний аналіз якості води проводили раз на добу, визначали рівень рН (за допомогою лабораторного рН-метра SX-620), температуру (електронним термометром), рівень NH_3 , NH_4 , NO_2 , NO_3 (набором тестів контролю якості води Ptero).

Для годівлі риби використовували комбікорм, який задавали двічі на добу – зранку та ввечері. Клінічний стан риби оцінювали шляхом візуального щодобового її огляду, урахували її рухливість, загальну поведінку (активність), апетит тощо.

У роботі використовували морфологічні, морфометричні та статистичні

методи досліджень. Об'єктом для дослідження було відпрепароване серце кларієвого сома ($n = 5$).

Проведення клінічного огляду щойно виловленої риби, оцінювання її екстер'єрних (зовнішній вигляд, маса тіла тварин), інтер'єрних (лінійні параметри, абсолютна та відносна маса серця) величин, здійснювали після анатомічного розтину, згідно з рекомендаціями іхтіологічних і морфологічних (Горальський та ін., 2019) посібників. Для запобігання негативному впливу стрес-чинників рибу перед розтином присипляли розчином гіпнодиду (5–10 мл/л).

Масу тіла кларієвого сома визначали шляхом його зважування, за допомогою ваг ВТД-3/0,1ФД «Днепровес» (Україна), з точністю до 0,1 г. Абсолютну масу серця та його структурних елементів визначали за допомогою електронних ваг. Відносну масу (далі – VM) серця вираховували за формулою: $VM = (\text{абсолютна маса серця} / \text{маса тіла тварини}) \times 100 \%$.

Визначення довжини, ширини, товщини серця проводили шляхом вимірювання, за допомогою штангель-циркуля. Індекс розвитку серця (далі – ІРС) визначали шляхом відношення загальної довжини до ширини, за формулою: $ІРС = (\text{довжина серця} / \text{ширина серця}) \times 100\%$.

Морфологічні терміни структурних частин серця подано згідно з Міжнародною ветеринарною анатомічною номенклатурою.

Цифрова обробка морфометричних досліджень проведена статистично, за використання програмного пакета “Statistica 7.0” програмного забезпечення (StatSoft, Талса, США). Відмінності між величинами визначали за допомогою ANOVA, уважали достовірними за $P < 0,05$ (з урахуванням похибки Бонферроні).

Результати

Серце у кларієвого сома топографічно розташоване у краніальній частині тулуба із черевного боку тіла, поблизу до голови, у трикутнику між кістками плечового пояса, у центрі між зябрами (рис. 1). Серце двокамерне, розташоване в навколосерцевій сумці.

У двоцихрибних риб завдяки унікальній будові органів дихання та серцево-судинної системи, окрім великого кола кровообігу, з'являється друге коло кровообігу – легеневе. У великому колі кровообігу венозна (дезоксигенована) кров із перед-

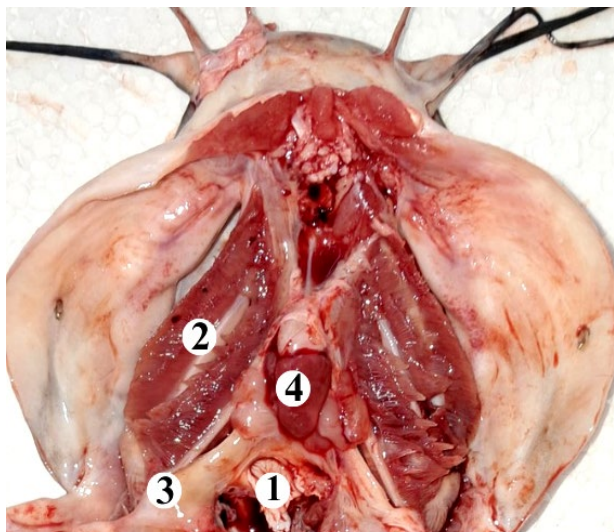


Рис. 1. Топографія серця кларієвого сома: 1 – краніальна частина тулуба; 2 – зябра; 3 – кістки плечового пояса; 4 – серце (макропрепарат)

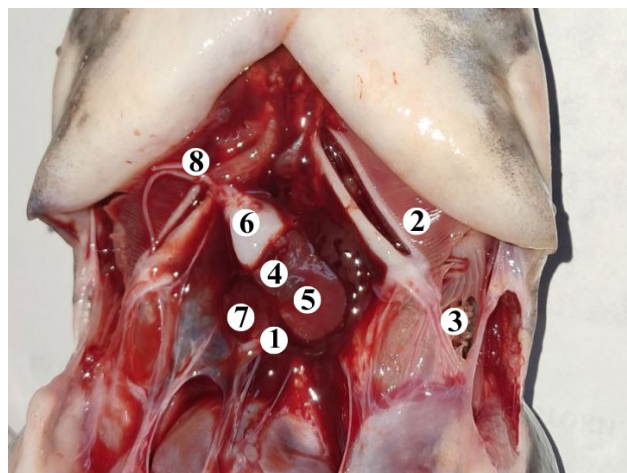


Рис. 2. Топографія та будова серця кларієвого сома: 1 – краніальна частина тулуба; 2 – зябра; 3 – легені; 4 – серце; 5 – шлуночок; 6 – артеріальний конус; 7 – передсердя; 8 – черевна аорта (макропрепарат)

серця потрапляє у шлуночок серця, а потім у його артеріальний конус, через черевну аорту по вихідним зябровим артеріям надходить до зябер (рис. 2), де насичується киснем, уже оксигенована (насичена киснем) кров по зябровим судинам (артеріям) надходить в органи й тканини, де відбувається газообмін, повертається по зябровим венам у праву частину передсердя.

У малому колі кровообігу венозна кров із передсердя потрапляє у шлуночок, потім до артеріального конуса, звідки через черевну аорту, по вихідним легене-вим артеріям кров надходить до легень, де відбувається газообмін, потім оксигенована кров (насичена киснем) із легень по легене-вим венам потрапляє в ліву половинку передсердя. Згодом, із правої та лівої частини передсердя кров знову потрапляє у шлуночок, звідки частково змішана кров надходить в артеріальний конус, які поєднуються одне з одним неповною перегородкою, а з артеріального конуса кров по легене-вим і зябровим артеріям знову потрапляє до зябер і легень, де відбувається газообмін.

За таких особливостей будови органів дихання у дводишних риб (поява легень), які функціонально поєднанні із серцево-судинною системою, серце кларієвого сома у процесі філогенетичного розвитку зазнає суттєвих морфологічних змін.

Так, морфологічними структурами серця кларієвого сома є венозний синус,

передсердя, шлуночок і артеріальний конус (рис. 2, 3), які є послідовно сформованою анатомічною мережею, по якій рухається деоксигенована (венозна) кров. Камери серця розділені клапанами, які дозволяють крові за скорочення стінок серця рухатись тільки у прямому напрямку (від венозного синуса до артеріального конуса), але не навпаки.

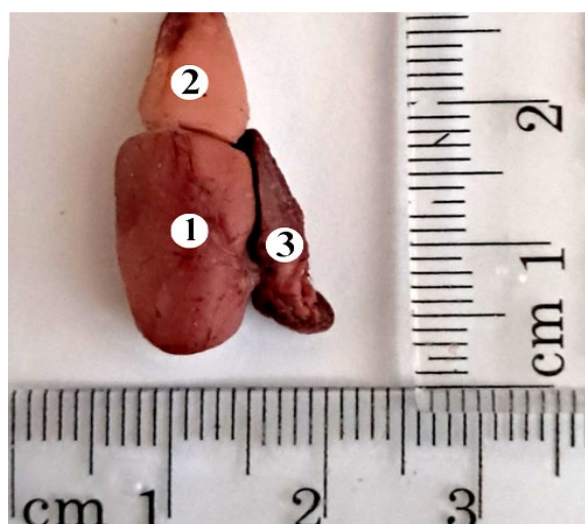


Рис. 3. Макроскопічна будова серця (дорсальне положення) кларієвого сома: 1 – шлуночок; 2 – артеріальний конус; 3 – передсердя (макропрепарат)

Шлуночок серця кларієвого сома має видовжено-овальну форму та є порожни-

стим органом. Краніально на шлуночку розрізняють розширену основу, а каудально – випулку верхівку (рис. 4).

Стінка шлуночка складається із трьох оболонок: внутрішньої (ендокард), середньої м'язової (міокард) та зовнішньої (епікард) (рис. 5). Найбільш розвинутою оболонкою шлуночка є м'язова оболонка – міокард, який із середини вистелений одношаровим плоским епітелієм (ендотелієм), що формує внутрішню досить тонку сполучнотканинну оболонку стінки серця – ендокард. Зовні міокард покритий зовнішньою сполучнотканинною оболонкою серця – перикардом (рис. 5).



Рис. 4. Анатомічні структури серця кларієвого сома: 1 – шлуночок; 2 – пересердя; 3 – артеріальний конус (макропрепарат)

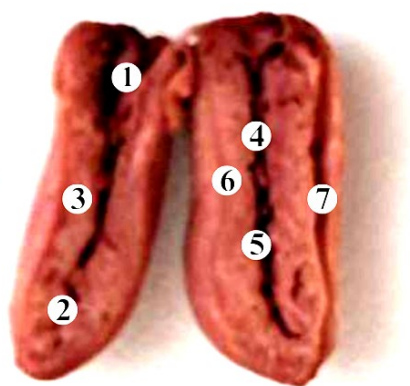


Рис. 5. Будова стінки шлуночка серця (поздовжній розріз) кларієвого сома: 1 – основа шлуночка; 2 – верхівка шлуночка; 3 – стінка шлуночка; 4 – порожнина шлуночка; 5 – ендокард; 6 – міокард; 7 – епікард (макропрепарат)

Біля основи шлуночка краніально, у формі товстостінної м'язової трубки, конічної (лійкоподібної) форми міститься пульсуючий порожнистий орган – артеріальний конус (див. рис. 4) (рис. 6, 7). Його стінка потовщена, сформована м'язовою тканиною. Артеріальний конус за зовнішнім виглядом має розширену основу, яка прилягає до краніальної частини (основи) шлуночка, зворотний бік конуса, його верхня поверхня звужена й переходить у черевну аорту (див. рис. 2).

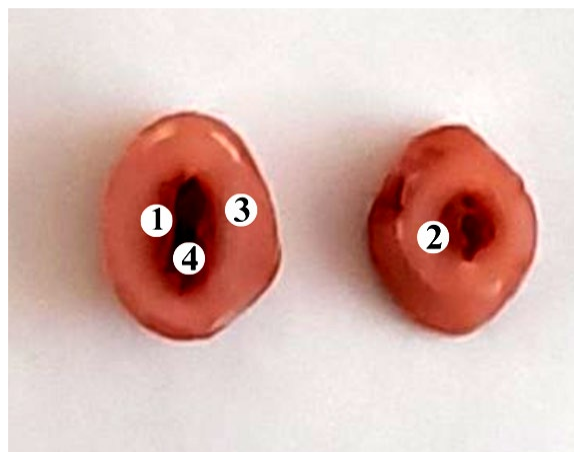


Рис. 6. Будова стінки артеріального конуса серця (поперечний розріз) кларієвого сома: 1 – зріз розширеної основи; 2 – зріз верхівки; 3 – стінка артеріального конуса; 4 – порожнина артеріального конуса (макропрепарат)

Передсердя серця у кларієвого сома має темно-коричневе забарвлення. На відмінну від будови серця хребетних тварин класів птахів, ссавців, де передсердя разом зі шлуночками серця формують єдину морфологічну структуру, у кларієвого сома передсердя у формі тонкостінного мішка, відокремленого від шлуночка, топографічно міститься справа від нього, поєднуючись отвором (див. рис. 7) (рис. 8).

У каудальному напрямку до передсердя прилягає венозна пазуха (венозний синус) (див. рис. 7). У кларієвого сома в передсерді є незначна (неповна) перегородка, яка частково поділяє передсердя на праву та ліву половинки (камери), що особливо помітно під час діастолі (розслаблення шлуночків і передсердь) серцевого ритму (див. рис. 8). Це пов'язано з появою у двошлункових риб, окрім зябрового, легеневого дихання, яке відсутнє в кісткових риб.

Згідно із проведеними нами морфометричними дослідженнями щодо ана-

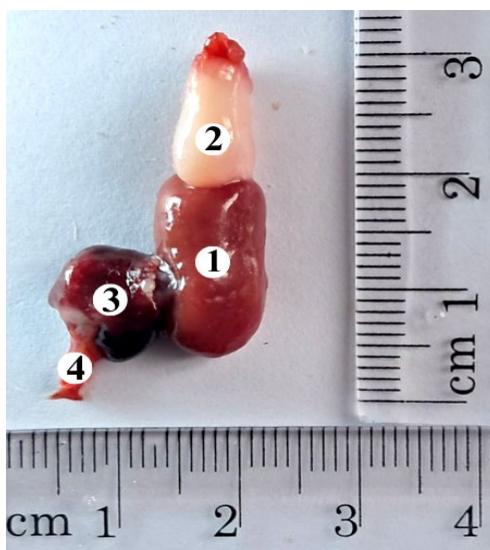


Рис. 7. Макроскопічна будова серця (вентральне положення) кларієвого сома:
1 – шлуночок; 2 – артеріальний конус;
3 – передсердя; 4 – венозна пазуха (макропрепарат)

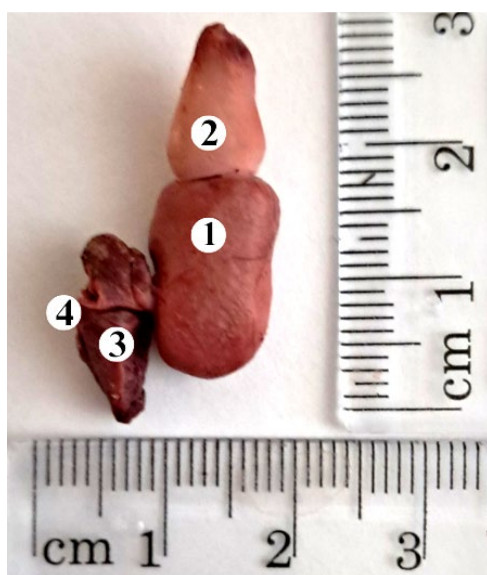


Рис. 8. Макроскопічна будова серця (вентральне положення) кларієвого сома:
1 – шлуночок; 2 – артеріальний конус;
3 – передсердя; 4 – неповна перегородка (макропрепарат)

лізу лінійних промірів (висота, ширина, товщина, окружність, індекс розвитку) структурних компонентів серця у кларієвого сома, їх значення різні та мають пряму залежність із виконанням ними функціонального навантаження.

Так, найбільші показники – довжина, ширина та товщина – характерні для шлу-

ночка серця, які відповідно становлять $14,0 \pm 0,7$, $8,12 \pm 0,81$ та $6,30 \pm 0,78$ мм. Окружність серця (шлуночка) дорівнює $28,9 \pm 1,95$ мм (табл. 1). Індекс розвитку серця у кларієвого сома за лінійними параметри його шлуночка дорівнює $172,66 \pm 5,62\%$. Тому серце у кларієвого сома визначається як звужено-видовжене. Лінійні параметри артеріального конуса значно менші, порівняно з такими у шлуночка серця: його довжина дорівнює $10,0 \pm 0,4$ мм, ширина – $6,32 \pm 0,54$ мм, товщина – $5,1 \pm 0,3$ мм. Проте довжина передсердя становить $13,8 \pm 0,8$ мм, ширина – $7,3 \pm 0,7$ мм, товщина – $3,6 \pm 0,4$ мм (див. табл. 1). Товщина стінки шлуночка серця у кларієвого сома є найбільшою і дорівнює $3,2 \pm 0,4$ мм. Значно меншою, в 1,47 рази ($p < 0,01$), є товщина стінки артеріального конуса ($2,18 \pm 0,21$ мм), найменшою ($p < 0,001$), у 8,0 рази порівняно зі стінкою шлуночка й у 5,4 рази ($p < 0,001$) порівняно зі стінкою артеріального конуса, є товщина стінки передсердь – $0,41 \pm 0,05$ мм (див. табл. 1).

Таблиця 1
Лінійні параметри серця кларієвого сома
($M \pm m$, $n = 5$)

Показники	Цифрові значення
Довжина шлуночка, мм	$14,0 \pm 0,7$
Ширина шлуночка, мм	$8,12 \pm 0,81$
Товщина шлуночка, мм	$6,30 \pm 0,78$
Товщина стінки шлуночка, мм	$3,21 \pm 0,42$
Окружність серця (шлуночка), мм	$28,9 \pm 2,0$
Індекс розвитку (шлуночка) серця, %	$172,7 \pm 5,6$
Довжина артеріального конуса, мм	$10,0 \pm 0,4$
Ширина артеріального конуса, мм	$6,32 \pm 0,54$
Товщина артеріального конуса, мм	$5,1 \pm 0,3$
Товщина стінки артеріального конуса, мм	$2,18 \pm 0,21$
Довжина передсердя, мм	$13,8 \pm 0,8$
Ширина передсердя, мм	$7,3 \pm 0,7$
Товщина передсердя (мм)	$3,6 \pm 0,4$
Товщина стінки передсердя (мм)	$0,41 \pm 0,05$

Згідно з аналізом результатів проведеної нами морфометрії, абсолютна маса серця у кларієвого сома дорівнює $0,89 \pm 0,03$ г, відносна маса – $0,07 \pm 0,01\%$ (табл. 2).

За результатами досліджень абсолютної та відносної маси структурних складників серця їхні показники безпосередньо корелюють із їхніми лінійними параметрами,

Таблиця 2
Морфометричні показники структурних частин серця кларієвого сома ($M \pm m$, $n = 5$)

Показники	Цифрові значення	
	АМ (г)	ВМ (%)
1. Маса серця (до маси тіла тварин)	0,89 ± 0,03	0,07 ± 0,01
2. Маса шлуночка (до АМ серця)	0,52 ± 0,02	58,3 ± 3,7
3. Артеріальний конус (до АМ серця)	0,21 ± 0,03	23,3 ± 2,9
4. Передсердя (до АМ серця)	0,16 ± 0,03	17,6 ± 3,1

найбільш високими є для шлуночка, потім артеріального конуса та передсердя. Так, абсолютна маса шлуночка серця є найбільшою і становить $0,52 \pm 0,02$ г ($58,3 \pm 3,7\%$), абсолютна маса артеріального конуса, порівняно з абсолютною масою шлуночка, є достовірно ($p < 0,01$) меншою і дорівнює $0,21 \pm 0,03$ г ($23,3 \pm 2,9\%$), найменшою ($p < 0,001$) є абсолютна маса передсердя – $0,16 \pm 0,03$ г ($17,6 \pm 3,1\%$) (див. табл. 2). За таких параметрів коефіцієнт відношення маси шлуночка до маси серця становить $1 : 0,58$, коефіцієнт відношення маси артеріального конуса до маси серця – $1 : 0,24$, коефіцієнт відношення маси передсердя до маси шлуночків – $1 : 0,18$. Це пов'язано з тим, що скоротливі кардіоміоцити м'язів шлуночка серця та відповідно артеріального конуса під час роботи здійснюють посилене навантаження, перекачують під тиском кров до органів і тканин, а з передсердя кров потрапляє лише у шлуночок серця, для чого необхідне значно менше навантаження.

Обговорення

Останнім часом опубліковано багато праць, у яких узагальнено сучасні концепції та досягнення морфологічних досліджень щодо закономірностей будови та розвитку серця, його складників у порівняльному видовому та віковому аспектах у різних тварин класів птахів і ссавців (Гнатюк та ін., 2016; Гнатюк і Слабий, 2016; Гнатюк та ін., 2017).

Виконані останніми роками дослідження щодо характеристики серцево-судинної системи хребетних тварин, зокрема свійських, привели до відкриття нових, раніше невідомих фактів, що потребують подальшого глибокого вивчення серця та його структур у порівняльно-анатомічному, видовому, пород-

ному та віковому аспектах (Horalskyi et al., 2022; Рагуля та ін., 2023; Горальський та ін., 2024).

Водночас у літературних джерелах мало публікацій щодо будови серця у хребетних тварин класу риб, амфібій, плазунів. Тому виконані нами дослідження щодо морфотопографії, макроскопічної будови серця у двошисних хребетних тварин, представником яких є кларієвий сом, є актуальним завданням біології (Weyl et al., 2016; Mahmoud et al., 2019; Mbokane & Moyo, 2022).

Кровоносна система риби, до складу якої входить центральний орган – серце, здійснює рух крові від серця через зябра та тканини тіла. На відміну від серця інших хребетних (амфібії, плазуни, птахи, ссавці), серце риб непристосоване для відокремлення (навіть часткового) збагаченої киснем крові від незбагаченої.

За морфологічної будови, серце в усіх риб двокамерне, складається з одного передсердя та одного шлуночка, що з'єднуються одне з одним спільним отвором. Окрім цього, є ще венозний синус, який прилягає до передсердя.

У серці хрящових риб є ще один відділ, так званий артеріальний конус, що є видозміненою кінцевою частиною шлуночка (підтвердженням цього є поперечно-посмугована мускулатура його стінок, як і шлуночка) (Власенко і Кузьменко, 2010).

У процесі еволюційного розвитку та формування класу кісткових риб, у зв'язку з активізацією в них усіх життєвих процесів, артеріальний конус серця зникає, оскільки зростає потужність стінок самого шлуночка. Водночас у кісткових риб формується товстостінне здуття початкової частини черевної аорти – цибулина аорти, м'язова оболонка стінки якої побудована із гладких м'язових клітин, що пом'якшує сильні пульсові поштовхи шлуночка (Власенко і Кузьменко, 2010).

У двошисних риб, представником яких є кларієвий сом, у яких у процесі філогенетичного розвитку, окрім зябрового дихання, з'явилося і легеневе, морфологічна будова та морфотопографія серця мають особливості та дещо відрізняються від таких у кісткових риб.

Так, у серці кларієвого сома (кісткові риби), окрім венозного синуса, передсердя та шлуночка, з'являється ще й артеріальний конус, який характерний лише для хрящових риб. Отже, у передсерді фор-

мується перегородка, яка відходить від черевної його стінки та не повністю розділяє передсердя на праву та ліву частини. Така перегородка виділяється частково у шлуночку серця через антріоventрикулярний отвір. У праву половину потрапляє вся венозна кров, а в ліву – артеріальна кров, принесена по легеневій вені. За морфологічною будовою артеріальний конус серця у кларієвого сома є кінцевою частиною серцевого шлуночка, про що свідчать мікроскопічні дослідження його м'язової оболонки, яка так само, як і оболонка шлуночка серця, сформована попереочно-посмугованою м'язовою тканиною. Отже, у дводишних риб до складу серця входять венозний синус, передсердя, шлуночок і артеріальний конус, які формують послідовну анатомічну судинну мережу, по якій рухається венозна кров. Така будова та формування артеріального конуса на етапі еволюційного розвитку хребетних тварин надали перевагу у прискоренні кровотоку, оскільки послідовне скорочення шлуночка, а потім і артеріального конуса, підвищує кров'яний тиск, завдяки чому пришвидшується рух крові по судинам (Власенко і Кузьменко, 2010).

Саме тому повітряне дихання у кларієвого сома, у якого, окрім зябер, у процесі історичного розвитку формуються ще й парні легені, дає можливість йому, за потреби, відносно тривалий строк (до 48 годин) жити без води, або ж у мутній воді з низьким вмістом кисню, а також пересуватися по поверхні наземного середовища.

Отже, у кісткових риб, кровоносна система яких має двокамерне серце й одне коло кровообігу, кров по зябровим венам тече у венозний синус, потім у передсердя, шлуночок та по черевній аорті в зябра, де відбувається газообмін, а вже від зябер артеріальна кров по судинах потрапляє до різних органів, де віддає кисень і насичується вуглекислим газом, перетворюючись на венозну, потім від різних тканин і органів венозна кров по венах знову повертається до серця (Victor et al., 1999; Grant, 2015).

У дводишних риб, яким властиве зяброве та легеневе дихання, завдяки появі в них легень, окрім великого кола кровообігу, з'являється друге коло кровообігу – легеневе.

У великому колі кровообігу венозна кров із передсердя потрапляє у шлуночок,

далі в артеріальний конус і через черевну аорту по вихідним зябровим артеріям до зябер, де насичується киснем і по зябровим артеріям потрапляє в органи й тканини, де відбувається газообмін, потім по зябровим венам деоксигенована кров повертається у праву частину передсердя.

У малому колі кровообігу венозна кров із передсердя потрапляє у шлуночок серця, далі до артеріального конуса, звідки через черевну аорту по вихідним легеневим артеріям надходить до легень, де відбувається газообмін, та вже оксигенована кров із легень по легеневим венам потрапляє в ліву половинку передсердя.

Згодом, із правої та лівої частин передсердя кров знову потрапляє у шлуночок серця, після чого частково змішана кров надходить в артеріальний конус, які поєднуються неповною перегородкою, а з артеріального конуса кров по легеневим і зябровим артеріям знову надходить до зябер і легень, де відбувається газообмін.

Сучасним пріоритетним напрямом дослідження, що дозволяє встановити критерії розвитку організму тварин на органному, тканинному та клітинному рівнях, є морфометричні дослідження органів і систем у клінічно здорових тварин у нормі, експерименті у видовому аспекті тощо (Dzau et al., 2006; Гнатюк і Слабий, 2016; Гнатюк та ін., 2017).

Саме тому математичний аналіз структур морфологічних об'єктів здобув визнання як сучасний метод, який характеризується об'єктивністю і достовірністю, що дає можливість глибше розкрити морфогенез органів і тканин за індивідуального й еволюційного їхнього розвитку, логічно інтерпретувати результати наукових досліджень (Стахурська і Прищяк, 2014; Dunaievska et al., 2023; Horalskyi et al., 2024).

Морфологічними критеріями росту та розвитку органів і їх систем є лінійні параметри (довжина, ширина, товщина, окружність). За їхніми показниками можна визначити форму органів, індекс їхнього розвитку тощо (Миц та ін., 2016; Dukhnytskyi et al., 2024).

Форма, розміри, маса серця у хребетних є індивідуальною особливістю і залежать від класу тварин, їхнього виду, віку, статі, будови тіла тощо. Ступінь видовженості (форми) серця (його морфологічних складників) – це відношення його найбіль-

ших поздовжнього (довжина) та поперечного (ширина в основі) лінійних розмірів (Шевченко, 2018).

Важливим критерієм фізіологічного стану роботи серця є товщина його стінок – шлуночка та передсердя у тварин класів птахів, ссавців, у дводишних риб ще й артеріального конуса, які, окрім шлуночка та передсердя, формують разом анатомічну будову серця (Мельник та ін., 2008; Власенко і Кузьменко, 2010).

Такі неоднозначні морфометричні параметри товщини стінок структурних складників серця у кларієвого сома, а саме найбільша товщина стінки його шлуночка й артеріального конуса та найменша товщина стінки передсердя, пояснюються їхнім функціональним навантаженням за відповідної роботи серця. Так, більша товщина стінок шлуночка й артеріального конуса та значно менша в передсердя пов'язані з тим, що завдяки скороченню м'язової оболонки шлуночка й артеріального конуса кров під високим тиском рухається в зябра та легені, де насичується киснем, а потім потрапляє в органи й тканини, де відбувається газообмін (насичення вуглекислим газом), та повертається по венам від органів і тканин у передсердя під низьким тиском, звідки знову потрапляє у шлуночок і артеріальний конус серця (Власенко і Кузьменко, 2010).

Суттєве значення в розвитку органів і тканин організму мають показники абсолютної та відносної маси, які не тільки свідчать про розвиток та морфофункціональну зрілість органа (Миц та ін., 2016), але й мають пізнавальне значення та є основою для визначення форми органа, встановлення індексу його розвитку та іншого (Horalskyi et al., 2019; Horalskyi et al., 2024).

У кларієвого сома коефіцієнт відношення маси шлуночка серця до його абсолютної маси дорівнює $1 : 0,58$, коефіцієнт відношення маси артеріального конуса до абсолютної маси серця становить $1 : 0,24$, а коефіцієнт відношення маси передсердя до маси шлуночків дорівнює $1 : 0,18$. Серце кларієвого сома, згідно з індексом розвитку ($172,7 \pm 5,6\%$) шлуночка серця, характеризується як звужено-видовжене.

За результатами наших досліджень, АМ серця у кларієвого сома становить $0,89 \pm 0,03$ г, відносна маса – $0,07 \pm 0,01\%$. Абсолютна і відносна маси структурних складників серця корелюють з їхніми лінійними параметрами та найбільші для шлуночка, потім артеріального конуса та передсердя.

Висновки

1. Серце кларієвого сома двокамерне й міститься у краніальній частині тулуба із черевного боку тіла, поблизу голови (у трикутнику між кістками плечового пояса), у центрі між зябрами.

2. Морфологічними складниками серця є шлуночок, передсердя та артеріальний конус: шлуночок серця видовжено-овальної форми, є порожнистим органом, у якого краніально знаходиться розширена основа, каудально – випукла верхівка; передсердя розташоване справа від шлуночка, у формі відокремленої структури, поєднуючись отвором. У передсерді наявна незначна (неповна) перегородка, яка частково поділяє його на праву та ліву половинки (камери); артеріальний конус – орган конічної (лійкоподібної) форми, має розширену основу, яка прилягає до шлуночка, зворотна частина конуса звужена та переходить у черевну аорту.

3. Лінійні параметри структурних частин серця, залежно від виконання ними функціонального навантаження, неоднозначні. Найбільша довжина, ширина та товщина, характерні для шлуночка серця. Лінійні параметри артеріального конуса та передсердя значно менші. За індексом розвитку шлуночка, серце кларієвого сома звужено-видовжене.

4. Абсолютна маса серця у кларієвого сома дорівнює $0,89 \pm 0,03$ г, відносна маса – $0,07 \pm 0,01\%$. Абсолютна та відносна маси структурних складників серця корелюють із їхніми лінійними параметрами, найбільші для шлуночка, потім артеріального конуса та передсердя.

Коефіцієнт відношення маси шлуночка до маси серця становить $1 : 0,58$, коефіцієнт відношення маси артеріального конуса до маси серця – $1 : 0,24$, коефіцієнт відношення маси передсердя до маси шлуночків – $1 : 0,18$.

Список використаної літератури

Власенко Р.П., Кузьменко Л.П. Зоологія хребетних : навчальний посібник. Житомир : Видавництво Житомирського державного університету імені Івана Франка, 2010. 250 с.

Гнатюк М.С., Слабий О.Б. Морфометрична оцінка особливостей ремоделювання камер легеневого серця з різними типами кровопостачання. *Здобутки клінічної і експериментальної медицини*. 2016. Т. 25. № 1. <https://doi.org/10.11603/1811-2471.2016.v25.i1.5996>.

Гнатюк М.С., Слабий О.Б., Татарчук Л.В. Ядерно-цитоплазматичні відносини в кардіоміоцитах та ендотеліоцитах шлуночків легеневого серця. *Клінічна анатомія та оперативна хірургія*. 2016. Т. 15. № 55. С. 67–70.

Гнатюк М.С., Слабий О.Б., Татарчук Л.В. Просторова характеристика камер серця дослідних тварин з різними типами вегетативної регуляції. *Біомедицина та біосоціальна антропологія*. 2017. № 28. С. 35–39.

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

Горальський А.П., Рагуля М.Р., Костюк В.К., Сокульський І.М. Визначення об'єму кардіоміоцитів та їх ядерно-цитоплазматичного відношення : науково-методичні рекомендації. Київ : Науково-методичний центр вищої та фахової передвищої освіти, 2024. 32 с.

Задорожній М.В., Бех В.В. Мінімально допустимі температури при вирощуванні африканського кларієвого сома (*Clarias gariepinus*). *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 135. Ч. 1. С. 232–238.

Мельник О.П., Костюк В.В., Шевченко П.Г. Анатомія риб : підручник. Київ, 2008. 620 с.

Міц І.Р., Денефіль О.В., Андрішшин 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>.

Рагуля М.Р., Горальський А.П., Сокульський І.М., Колесник Н.А. Особливості морфоархітектоники та морфометрії серця кроля (*Oryctolagus cuniculus* l. 1758). *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2023. № 108. С. 51–62. <https://doi.org/10.37000/abbsl.2023.108.07>.

Стахурська І.О., Пришляк А.М. Морфометрична характеристика камер серця тварин різної статі. *Вісник проблем біології і медицини*. 2014. № 1 (106). С. 269–272.

Шевченко І.В. Морфологічні основи морфогенезу серця в ранньому постнатальному розвитку в нормі. *Вісник проблем біології і медицини*. 2018. № 3 (145). С. 340–344. <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2018-3-145-340-344>.

Waßmann B., Brenner M., Palm H.W. Stress and welfare of african catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) in a coupled aquaponic system. *Water*. 2017. Vol. 9. № 7. P. 504. <https://doi.org/10.3390/w9070504>.

Belão T.C., Leite C.A., Florindo L.H., Kalinin A.L., Rantin F.T. Cardiorespiratory responses to hypoxia in the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822), an air-breathing fish. *Journal of Comparative Physiology B*. 2011. Vol. 181. № 7. P. 905–916. <https://doi.org/10.1007/s00360-011-0577-z>.

Ben-Shachar G., Arcilla R.A., Lucas R.V., Manasek, F.J. Ventricular trabeculations in the chick embryo heart and their contribution to ventricular and muscular septal development. *Circulation Research*. 1985. Vol. 57. № 5. P. 759–766. <https://doi.org/10.1161/01.res.57.5.759>.

Chan J.H., Kadri S., Köllner B., Rebl A., Korytář T. RNA-Seq of single fish cells - seeking out the leukocytes mediating immunity in teleost fishes. *Frontiers in Immunology*. 2022. Vol. 13. P. 712–798. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.798712>.

Dukhnytskyi V.B., Horalskyi L.P., Sokolyuk V.M., Guttyj B.V., Ishchenko, V.D., Ligomina I.P., Kolesnik N.L., Dzhmil V.I. Morphofunctional changes in the internal organs of laying hens affected by chronic thiamethoxam intoxication. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2024. Vol. 15. № 3. P. 578–586. <https://doi.org/10.15421/022481>.

Dunaievska O.F., Horalskyi L.P., Sokulskiy I.M., Radzikhovskiy M.L., Guttyj B.V. Influence of protein-vitamin mineral supplements on the splenic morphometric parameters of quails. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2023. Vol. 14. № 2. P. 242–247. <https://doi.org/10.15421/022336>.

Dzau V.J., Antman E.M., Black H.R., Hayes D.L., Manson J.E., Plutzky J., Popma J.J., Stevenson W. The cardiovascular disease continuum validated: clinical evidence of improved patient outcomes: part I: Pathophysiology and clinical trial evidence (risk factors through stable coronary artery disease). *Circulation*. 2006. Vol. 114. № 25. P. 2850–2870. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.655688>.

Ghedotti M.J., DeKay H.M., Maile A.J., Smith W.L., Davis M.P. Anatomy and evolution of bioluminescent organs in the slimeheads (Teleostei: Trachichthyidae). *Journal of Morphology*. 2021. Vol. 282. № 6. P. 820–832. <https://doi.org/10.1002/jmor.21349>.

- Gould R.A., Aboulmouna L.M., Varner J.D., Butcher J.T. Hierarchical approaches for systems modeling in cardiac development. *Wiley interdisciplinary reviews. Systems biology and medicine*. 2013. Vol. 5. № 3. P. 289–305. <https://doi.org/10.1002/wsbm.1217>.
- Grant K.R. Fish hematology and associated disorders. The veterinary clinics of North America. *Exotic animal practice*. 2015. Vol. 18. № 1. P. 83–103. <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2014.09.007>.
- Hashemi S., Kaveh S., Abedi E., Phimolsiripol Y. Polysaccharide-based edible films/coatings for the preservation of meat and fish products: emphasis on incorporation of lipid-based nanosystems loaded with bioactive compounds. *Foods (Basel, Switzerland)*. 2023. Vol. 12. № 17. P. 32–68. <https://doi.org/10.3390/foods12173268>.
- Hecht T., Oellermann L., Verheust L. Perspectives on clarid culture in Africa. *The Biology and Culture of Catfishes*. 1996. V. 9. P. 197–206.
- 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., Ragulya M., Kolesnik N., Sokulskiy I. Peculiarities of organometry and morphoarchitectonics of the heart of the Domestic ram (*Ovis aries* L., 1758). *Ukrainian Journal of Veterinary Sciences*. 2023. Vol. 14. № 4. P. 40–56. <https://doi.org/10.31548/veterinary4.2023.40>.
- Horalskyi L.P., Ragulya M.R., Kolesnik N.L., Sokulskiy I.M., Gutyj B.V. Peculiarities of macro- and cytometric assessment of morphological structures of the domestic pig heart. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2024. Vol. 15. № 1. P. 55–61. <https://doi.org/10.15421/022408>.
- Juin S., Sarkar S., Maitra S., Nath P. Effect of fish vitellogenin on the growth of juvenile catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Aquaculture Reports*. 2017. Vol. 7. P. 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2017.05.001>.
- Lawal B.M., Adewole H.A., Olaleye V.F. Digestibility study and nutrient re-evaluation in clarias gariepinus fed blood meal-rumen digesta blend diet. *Notulae Scientia Biologicae*. 2017. Vol. 9. № 3. P. 344–349. <https://doi.org/10.15835/nsb9310047>.
- Mahmoud U.M., Mekkiawy I.A.A., Naguib M., Sayed A.E.H. Silver nanoparticle-induced nephrotoxicity in *Clarias gariepinus*: physio-histological biomarkers. *Fish Physiology and Biochemistry*. 2019. Vol. 45. № 6. P. 1895–1905. <https://doi.org/10.1007/s10695-019-00686-7>.
- Martins B.O., Franco-Belussi L., Siqueira M.S., Fernandes C.E., Provete D.B. The evolution of red blood cell shape in fishes. *Journal of Evolutionary Biology*. 2021. Vol. 34. № 3. P. 537–548. <https://doi.org/10.1111/jeb.13757>.
- Mbokane E.M., Moyo N.A.G. Use of medicinal plants as feed additives in the diets of Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*) and the African Sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*) in Southern Africa. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022. Vol. 9. P. 1–14. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1072369>.
- Muller J.F., Marc R.E. Three distinct morphological classes of receptors in fish olfactory organs. *The Journal of Comparative Neurology*. 1984. Vol. 222. № 4. P. 482–495. <https://doi.org/10.1002/cne.902220403>.
- Olson K.R. Vasculature of the fish gill: anatomical correlates of physiological functions. *Journal of Electron Microscopy Technique*. 1991. Vol. 19. № 4. P. 389–405. <https://doi.org/10.1002/jemt.1060190402>.
- Roobab U., Fidalgo L.G., Arshad R.N., Khan A.W., Zeng X.A., Bhat Z.F., Bekhit A.E.A., Batool Z., Aadil R.M. High-pressure processing of fish and shellfish products: Safety, quality, and research prospects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2022. Vol. 21. № 4. P. 3297–3325. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12977>.
- Song W., Song J. Morphological structure and peripheral innervation of the lateral line system in the Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). *Integrative Zoology*. 2012. Vol. 7. № 1. P. 83–93. <https://doi.org/10.1111/j.1749-4877.2011.00271.x>.
- Spaink H.P., Jansen H.J., Dirks R.P. Advances in genomics of bony fish. *Briefings in Functional Genomics*. 2014. Vol. 13. № 2. P. 144–156. <https://doi.org/10.1093/bfgp/elt046>.
- Strauch S.M., Wenzel L.C., Bischoff A., Dellwig O., Klein J., Schüch A., Wasenitz B., Palm H.W. Commercial African Catfish (*Clarias gariepinus*) Recirculating Aquaculture Systems: Assessment of Element and Energy Pathways with Special Focus on the Phosphorus Cycle. *Sustainability*. 2018. Vol. 10. № 6. P. 1805. <https://doi.org/10.3390/su10061805>.
- Svendsen M.S., Johansen J.L., Bushnell P.G., Skov P.V., Norin T., Domenici P., Steffensen J.F., Abe A. Are all bony fishes oxygen regulators? Evidence for oxygen regulation in a putative oxygen

conformer, the swamp eel *Synbranchus marmoratus*. *Journal of Fish Biology*. 2019. Vol. 94. № 1. P. 178–182. <https://doi.org/10.1111/jfb.13861>.

Truter M., Hadfield K., Smit N. Review of the metazoan parasites of the economically and ecologically important African sharptooth catfish *Clarias gariepinus* in Africa: Current status and novel records. *Advances in Parasitology*. 2023. Vol. 119. P. 65–222. <https://doi.org/10.1016/bs.apar.2022.11.001>.

Ukagwu J.I., Anyanwu D.C., Offor J.I., Nduka C.O. Comparative studies of nutrient composition of wild caught and pond reared african catfish, *Clarias gariepinus*. *International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences*. 2017. Vol. 5. № 7. P. 63–68.

Victor S., Nayak V.M., Rajasingh R. Evolution of the ventricles. *Texas Heart Institute Journal*. 1999. Vol. 26. № 3. P. 168–176.

Weyl O.L. Daga V.S., Ellender B.R., Vitule J.R. A review of *Clarias gariepinus* invasions in Brazil and South Africa. *Journal of Fish Biology*. 2016. Vol. 89. № 1. P. 386–402. <https://doi.org/10.1111/jfb.12958>.

Yu D., Wu L., Regenstein J.M., Jiang Q., Yang F., Xu Y., Xia W. Recent advances in quality retention of non-frozen fish and fishery products : A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020. Vol. 60. № 10. P. 1747–1759. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1596067>.

Zadorozhnii M., Bekh V. First experience of cultivating african catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) under natural temperature conditions in water bodies of Polissiya of Ukraine. *Ribogospodars'ka Nauka Ukraini*. 2024. Vol. 1. № 67. P. 74–88. <https://doi.org/10.61976/fsu2024.01.074>.

References

Vlasenko, R.P., & Kuzmenko, L.P. (2010). *Zoolohiia khrebetnykh: navchalnyi posibnyk [Vertebrate Zoology: study Guide]*. Zhytomyr: Vydavnytstvo Zhytomyrskoho derzhavnoho universytetu imeni Ivana Franka [in Ukrainian].

Hnatiuk, M.S., & Slabyi, O.B. (2016). Morfometrychna otsinka osoblyvosti remodeliuvannia kamer lehenevoho sertsia z riznymi typamy krovopostachannia [Morphometric assessment of the remodeling features of the pulmonary heart chambers with different types of blood supply]. *Zdobutky klinichnoi i eksperymentalnoi medytsyny [Achievements of clinical and experimental medicine]*, 1, 17–20 [in Ukrainian].

Hnatiuk, M.S., Slabyi, O.B., & Tatarchuk, L.V. (2016). Yaderno-tsytoplazmatychni vidnoshennia u kardiomiotsytakh ta endoteliotsytakh shlunochkiv lehenevoho sertsia [Nuclear-cytoplasmic relationships in cardiomyocytes and endothelial cells of the ventricles of the pulmonary cor pulmonale]. *Klinichna Anatomii ta Operatyvna Khirurgiia [Clinical anatomy and operative surgery]*, 15 (55), 67–70 [in Ukrainian].

Hnatiuk, M.S., Slabyi, O.B., & Tatarchuk, L.V. (2017). Prostorova kharakterystyka kamer sertsia doslidnykh tvaryn z riznymi typamy vehetativnoi rehuliacii [Spatial characteristics of heart chambers of experimental animals with different types of autonomic regulation]. *Biomedychna ta biosotsial'na antropohiia [Biomedical and Biosocial Anthropology]*, 28, 35–39 [in Ukrainian].

Horalskyi, L.P., Khomych, V.T., & Kononskyi, O.I. (2019). Osnovy histolohichnoi tekhniky i morfofunktsionalni metody doslidzhennia u normi ta pry patolohii [Basics of histological technique and morphofunctional methods of research in normal and pathology]. Zhytomyr: Polissia [in Ukrainian].

Horalskyi, L.P., Rahulia, M.R., Kostiuk, V.K., & Sokulskyi, I.M. (2024). Vyznachennia obiemu kardiomiotsytiv ta yikh yaderno-tsytoplazmatychnoho vidnoshennia [Determination of cardiomyocyte volume and their nuclear-cytoplasmic ratio.]. *Naukovo-metodychni rekomendatsii [Scientific and methodological recommendations]*. Kyiv: Naukovo-metodychnyi tsentr vyshchoi ta fakhovoi peredvyshchoi osvity [in Ukrainian].

Zadorozhnii, M.V., & Bekh, V.V. (2024). Minimalno dopustymi temperatury pry vyroshchuvanni afrykansko klariiivoho soma (*Clarias gariepinus*) [Minimum permissible temperatures for growing African *Clarias* catfish (*Clarias gariepinus*)]. *Tavriiskyi Naukovyi Visnyk [Tavria Scientific Bulletin]*, 135, 232–238. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.135.1.31> [in Ukrainian].

Melnyk, O.P., Kostiuk, V.V., & Shevchenko, P.H. (2008). *Anatomii ryb [Fish anatomy]*. Kyiv: Tsentr uchbovoho literatury [in Ukrainian].

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

Rahulia, M., Horalskyi, L., Sokulskyi, I., & Kolesnik, N. (2023). Osoblyvosti morfoarkhitektoniky ta morfometrii sertsia krolia (*Oryctolagus cuniculus* L. 1758) [Features of morphoarchitectonics and morphometry of the rabbit heart (*Oryctolagus cuniculus* L. 1758)]. *Ahrarnyi Visnyk Prychornomia [Agrarian Bulletin of the Black Sea Region]*, 108, 51–62. <https://doi.org/10.37000/abbsl.2023.108.07> [in Ukrainian].

Stakhurska, I.O., & Pryshliak, A.M. (2014). Morfometrychna kharakterystyka kamer sertsia tvaryn riznoi stati [Morphometric characteristics of heart chambers of animals of different sexes]. *Visnyk Problem Biologii i Medytsyny [Bulletin of Problems of Biology and Medicine]*, 1 (106), 269–272 [in Ukrainian].

Shevchenko, I.V. (2018). Morfolohichni osnovy morfohenezu sertsia u rannomu postnatalnomu rozvytku v normi [Morphological basis of cardiac morphogenesis in early postnatal development in normal]. *Visnyk Problem Biologii i Medytsyny [Bulletin of Problems of Biology and Medicine]*, 3 (145), 340–344. <https://doi:10.29254/2077-4214-2018-3-145-340-344> [in Ukrainian].

Baßmann, B., Brenner, M., & Palm, H.W. (2017). Stress and welfare of african catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) in a coupled aquaponic system. *Water*, 9 (7), 504. <https://doi:10.3390/w9070504> [in English].

Belão, T.C., Leite, C.A., Florindo, L.H., Kalinin, A.L., & Rantin, F.T. (2011). Cardiorespiratory responses to hypoxia in the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822), an air-breathing fish. *Journal of Comparative physiology. B, Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 181 (7), 905–916. <https://doi:10.1007/s00360-011-0577-z> [in English].

Ben-Shachar, G., Arcilla, R.A., Lucas, R.V., & Manasek, F.J. (1985). Ventricular trabeculations in the chick embryo heart and their contribution to ventricular and muscular septal development. *Circulation Research*, 57 (5), 759–766. <https://doi:10.1161/01.res.57.5.759> [in English].

Chan, J.T.H., Kadri, S., Köllner, B., Rebl, A., & Korytář, T. (2022). RNA-Seq of single fish cells – seeking out the leukocytes mediating immunity in teleost fishes. *Frontiers in Immunology*, 13, 798712. <https://doi:10.3389/fimmu.2022.798712> [in English].

Dukhnytskyi, V.B., Horalskyi, L.P., Sokolyuk, V.M., Gutyj, B.V., Ishchenko, V.D., Ligomina, I.P., Kolesnik, N.L., & Dzhmil, V.I. (2024). Morphofunctional changes in the internal organs of laying hens affected by chronic thiamethoxam intoxication. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 15 (3), 578–586. <https://doi:10.15421/022481> [in English].

Dunaievska, O.F., Horalskyi, L.P., Sokulskiy, I.M., Radzikhovskiy, M.L., & Gutyj, B.V. (2023). Influence of protein-vitamin mineral supplements on the splenic morphometric parameters of quails. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 14 (2), 242–247. <https://doi:10.15421/022336> [in English].

Dzau, V.J., Antman, E.M., Black, H.R., Hayes, D.L., Manson, J.E., Plutzky, J., Popma, J.J., & Stevenson, W. (2006). The cardiovascular disease continuum validated: clinical evidence of improved patient outcomes: part I: Pathophysiology and clinical trial evidence (risk factors through stable coronary artery disease). *Circulation*, 114 (25), 2850–2870. <https://doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.106.655688> [in English].

Ghedotti, M.J., DeKay, H.M., Maile, A.J., Smith, W.L., & Davis, M.P. (2021). Anatomy and evolution of bioluminescent organs in the slimeheads (Teleostei: Trachichthyidae). *Journal of Morphology*, 282 (6), 820–832. <https://doi:10.1002/jmor.21349> [in English].

Gould, R.A., Aboulmouna, L.M., Varner, J.D., & Butcher, J.T. (2013). Hierarchical approaches for systems modeling in cardiac development. Wiley interdisciplinary reviews. *Systems biology and medicine*, 5 (3), 289–305. <https://doi:10.1002/wsbm.1217> [in English].

Grant, K.R. (2015). Fish hematology and associated disorders. *The veterinary clinics of North America. Exotic animal practice*, 18 (1), 83–103. <https://doi:10.1016/j.cvex.2014.09.007> [in English].

Hashemi, S., Kaveh, S., Abedi, E., & Phimolsiripol, Y. (2023). Polysaccharide-based edible films/coatings for the preservation of meat and fish products: emphasis on incorporation of lipid-based nanosystems loaded with bioactive compounds. *Foods (Basel, Switzerland)*, 12 (17), 3268. <https://doi:10.3390/foods12173268> [in English].

Hecht, T., Oellermann, L., & Verheust, L. (1996). Perspectives on clarid culture in Africa. *The Biology and Culture of Catfishes*, 9, 197–206. [in English].

Horalskyi, L.P., Ragulya, M.R., Glukhova, N.M., Sokulskiy, I.M., Kolesnik, N.L., Dunaievska, 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:10.15421/022207> [in English].

Horalskyi, L., Ragulya, M., Kolesnik, N., & Sokulskiy, I. (2023). Peculiarities of organometry and morphoarchitectonics of the heart of the Domestic ram (*Ovis aries* L., 1758). *Ukrainian Journal of Veterinary Sciences*, 14 (4), 40–56. <https://doi:10.31548/veterinary4.2023.40> [in English].

Horalskyi, L.P., Ragulya, M.R., Kolesnik, N.L., Sokulskiy, I.M., & Gutyj, B.V. (2024). Peculiarities of macro- and cytometric assessment of morphological structures of the domestic pig heart. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 15 (1), 55–61. <https://doi:10.15421/022408> [in English].

Juin, S., Sarkar, S., Maitra, S., & Nath, P. (2017). Effect of fish vitellogenin on the growth of juvenile catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Aquaculture Reports*, 7, 16–26. <https://doi:10.1016/j.aqrep.2017.05.001> [in English].

Lawal, B.M., Adewole, H.A., & Olaleye, V.F. (2017). Digestibility study and nutrient re-evaluation in *clarias gariepinus* fed blood meal-rumen digesta blend diet. *Notulae Scientia Biologicae*, 9 (3), 344–349. <https://doi:10.15835/nsb9310047> [in English].

- Mahmoud, U.M., Mekki, I.A.A., Naguib, M., & Sayed, A.E.H. (2019). Silver nanoparticle-induced nephrotoxicity in *Clarias gariepinus*: physio-histological biomarkers. *Fish Physiology and Biochemistry*, 45 (6), 1895–1905. <https://doi.org/10.1007/s10695-019-00686-7> [in English].
- Martins, B.O., Franco-Belussi, L., Siqueira, M.S., Fernandes, C.E., & Proverte, D.B. (2021). The evolution of red blood cell shape in fishes. *Journal of Evolutionary Biology*, 34 (3), 537–548. <https://doi.org/10.1111/jeb.13757> [in English].
- Mbokane, E.M., & Moyo, N.A.G. (2022). Use of medicinal plants as feed additives in the diets of Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*) and the African Sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*) in Southern Africa. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 1072369. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1072369> [in English].
- Muller, J.F., & Marc, R.E. (1984). Three distinct morphological classes of receptors in fish olfactory organs. *The Journal of Comparative Neurology*, 222 (4), 482–495. <https://doi.org/10.1002/cne.902220403> [in English].
- Olson, K.R. (1991). Vasculature of the fish gill: anatomical correlates of physiological functions. *Journal of Electron Microscopy Technique*, 19 (4), 389–405. <https://doi.org/10.1002/jemt.1060190402> [in English].
- Roobab, U., Fidalgo, L.G., Arshad, R.N., Khan, A.W., Zeng, X.A., Bhat, Z.F., Bekhit, A.E.A., Batool, Z., & Aadil, R.M. (2022). High-pressure processing of fish and shellfish products: Safety, quality, and research prospects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21 (4), 3297–3325. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12977> [in English].
- Song, W., & Song, J. (2012). Morphological structure and peripheral innervation of the lateral line system in the Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). *Integrative Zoology*, 7 (1), 83–93. <https://doi.org/10.1111/j.1749-4877.2011.00271.x> [in English].
- Spaink, H.P., Jansen, H.J., & Dirks, R.P. (2014). Advances in genomics of bony fish. *Briefings in Functional Genomics*, 13 (2), 144–156. <https://doi.org/10.1093/bfpg/elt046> [in English].
- Strauch, S.M., Wenzel, L.C., Bischoff, A., Dellwig, O., Klein, J., Schüch, A., Wasenitz, B., & Palm, H.W. (2018). Commercial African Catfish (*Clarias gariepinus*) Recirculating Aquaculture Systems: Assessment of Element and Energy Pathways with Special Focus on the Phosphorus Cycle. *Sustainability*, 10 (6), 1805. <https://doi.org/10.3390/su10061805> [in English].
- Svendsen, M.S., Johansen, J.L., Bushnell, P.G., Skov, P.V., Norin, T., Domenici, P., Steffensen, J.F., & Abe, A. (2019). Are all bony fishes oxygen regulators? Evidence for oxygen regulation in a putative oxygen conformer, the swamp eel *Synbranchus marmoratus*. *Journal of Fish Biology*, 94 (1), 178–182. <https://doi.org/10.1111/jfb.13861> [in English].
- Truter, M., Hadfield, K.A., & Smit, N.J. (2023). Review of the metazoan parasites of the economically and ecologically important African sharptooth catfish *Clarias gariepinus* in Africa: Current status and novel records. *Advances in Parasitology*, 119, 65–222. <https://doi.org/10.1016/bs.apar.2022.11.001> [in English].
- Ukagwu, J.I., Anyanwu, D.C., Offor, J.I., & Nduka, C.O. (2017). Comparative studies of nutrient composition of wild caught and pond reared african catfish, *Clarias gariepinus*. *International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences*, 5 (7), 63–68 [in English].
- Victor, S., Nayak, V.M., & Rajasingh, R. (1999). Evolution of the ventricles. *Texas Heart Institute Journal*, 26 (3), 168–176 [in English].
- Weyl, O.L., Daga, V.S., Ellender, B.R., & Vitule, J.R. (2016). A review of *Clarias gariepinus* invasions in Brazil and South Africa. *Journal of Fish Biology*, 89 (1), 386–402. <https://doi.org/10.1111/jfb.12958> [in English].
- Yu, D., Wu, L., Regenstein, J.M., Jiang, Q., Yang, F., Xu, Y., & Xia, W. (2020). Recent advances in quality retention of non-frozen fish and fishery products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60 (10), 1747–1759. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1596067> [in English].
- Zadorozhnyi, M., & Bekh, V. (2024). First experience of cultivating african catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) under natural temperature conditions in water bodies of Polissiya of Ukraine. *Ribogospodars'ka Nauka Ukraini*, 1 (67), 74–88. <https://doi.org/10.61976/fsu2024.01.074> [in English].

Отримано: 31.07.2025

Прийнято: 05.09.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 574.3:582.669
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.5>

ПОПУЛЯЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ЕНДЕМІЧНИХ ВИДІВ РОСЛИН РОДИНИ CARYOPHYLLACEAE JUSS

Л. А. Джус¹, І. П. Діденко², Т. Д. Ковальчук³, М. І. Парубок⁴, М. Р. Фабрика⁵

Представлено результати досліджень вузьколокальних південнобузьких ендемічних видів родини *Caryophyllaceae* Juss.: *Dianthus hyranicus* Andr., *Moehringia hyranica* Grunj et Klok. та *Silene hyranica* Klokov, які зростають на території Національного природного парку «Бузький Гард». Встановлено, що досліджувані популяції толерантні, мають позитивну динаміку показників щільності. Відповідно до абсолютної кількості особин усі досліджувані популяції відносимо до багаточисельних. З'ясовано, що майже всі досліджувані популяції нормальні, в них зареєстровано значну кількість генеративних особин. Лише одна популяція *S. hyranica* інвазійна, в якій переважають імагурні особини. В усіх популяціях відсутні сенільні особини, а частка субсенільних не перевищувала 15,63%. Усі популяції неповночленні через відсутність проростків та сенільних особин у всіх досліджуваних локалітетах. Ймовірно, це пов'язано зі швидким переходом проростків до ювенільного стану, а відсутність сенільних особин може свідчити про значну тривалість онтогенезу та значний час життя генеративних рослин. За особливостями вікових спектрів нами не зареєстровано популяції регресивного типу. За кількісними індексами, із загального числа популя-

¹ молодший науковий співробітник відділу трав'янистих рослин
(Національний дендрологічний парк «Софіївка» НАН України, м. Умань)
e-mail: lyudmiladzhus88@gmail.com

ORCID: 0000-0003-3586-7432

² кандидат біологічних наук,
завідувач відділу трав'янистих рослин
(Національний дендрологічний парк «Софіївка» НАН України, м. Умань)
e-mail: fritillaria2007@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4198-3432

³ кандидат біологічних наук,
в.о. старшого наукового співробітника відділу трав'янистих рослин
(Національний дендрологічний парк «Софіївка» НАН України, м. Умань)
e-mail: rhus2017@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8545-8496

⁴ кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології
(Уманський національний університет, м. Умань)
e-mail: m.parubok69@gmail.com

ORCID: 0000-0002-7228-4669

⁵ молодший науковий співробітник відділу трав'янистих рослин
(Національний дендрологічний парк «Софіївка» НАН України, м. Умань)
e-mail: marinafabryka@gmail.com

ORCID: 0000-0003-2529-540X

ції 53,8% були молодими (індекс віковості менший за одиницю), 23,10% – середньовіковими, 23,10% – старіючими (індекс віковості значно перевищував одиницю). Отже, *D. hypanicus*, *M. hypanica* та *S. hypanica* ростуть у сприятливих умовах, розвиток їх популяції задовільний. Вважаємо за необхідне вказати, що видобуток граніту, витоптування, опосередковані зміни місцезростань унаслідок створення водосховищ та російська агресія можуть вплинути на зникнення місцезнаходжень цих видів, які відомі лише в Україні.

Ключові слова: природні парки, площа, щільність, онтогенетична структура, віковий спектр, кількісні індекси.

POPULATION MONITORING OF ENDEMIC PLANT SPECIES OF THE CARYOPHYLLACEAE JUSS. FAMILY

L. L. Dzhus, I. P. Didenko, T. D. Kovalchuk, M. I. Parubok, M. R. Fabryka

The results of studies of narrowly localized endemic species of the Caryophyllaceae Juss. family in the southern Bug and Ingul regions are presented: *Dianthus hypanicus* Andr., *Moehringia hypanica* Grynj et Klok. and *Silene hypanica* Klokov, which grow in the territory of the Buzky Gard National Nature Park. It has been established that the studied populations are tolerant and have positive density dynamics. According to the absolute number of individuals, all studied populations are considered numerous. It has been found that almost all studied populations are normal, with a significant number of generative individuals registered. Only one population of *S. hypanica* is invasive, with immature individuals predominating. There are no senile individuals in any of the populations, and the proportion of subsenile individuals did not exceed 15.63%. All populations are incomplete due to the absence of seedlings and senile individuals in all studied localities. This is probably due to the rapid transition of seedlings to the juvenile stage, and the absence of senile individuals may indicate a significant duration of ontogenesis and a significant lifespan of generative plants. Based on the characteristics of the age spectra, we did not register any populations of the regressive type. According to quantitative indices, of the total number of populations, 53.8% were young (age index less than one), 23.10% were middle-aged, and 23.10% were aging (age index significantly exceeded one).

Thus, *D. hypanicus*, *M. hypanica*, and *S. hypanica* grow in favorable conditions, and their populations are developing satisfactorily. We consider it necessary to point out that granite mining, trampling, indirect changes in habitats due to the creation of reservoirs, and russian aggression may contribute to the disappearance of the habitats of these species, which are known only in Ukraine.

Key words: natural park, area, density, ontogenetic structure, age spectrum, quantitative indices.

Вступ

Причиною сучасного скорочення чисельності або навіть повного зникнення деяких видів рослин є негативний антропогенний вплив, який виступає руйнівною силою для природних комплексів. Однією з актуальних задач у межах проблеми збереження біологічної різноманітності є охорона рідкісних та напівзниклих видів рослин як найбільш уразливого компонента генофонду, який насамперед потерпає від антропогенного тиску та екологічних змін (Соломаха та ін., 2006). Першочерговим завданням після виявлення на території таких рослин є їх картування, вивчення екології видів та стану популяцій (Драбинюк, 2016). У дослідженні популяцій рослин найбільше значення має вивчення онтогенетичної структури. Відомості про чисельність і віковий склад популяцій дозволяє судити про темпи розвитку особин, визначити рівень життє-

вого стану й оптимальні умови існування популяцій (Хархота та ін., 2013). Великий науковий інтерес представляють вузько-локальні південнобузькі ендемічні види. Метою наших досліджень було з'ясувати стан популяцій представників родини Caryophyllaceae, які зростають на території Національного природного парку «Бузький Гард» (НПП «Бузький Гард»): *Dianthus hypanicus* Andr., *Moehringia hypanica* Grynj et Klok. та *Silene hypanica* Klokov, місцезнаходження яких відомі лише в Україні.

Адаптивні особливості південнобузьких ендемів *D. hypanicus* та *M. hypanica* з'ясували В.А. Соломаха, Г.В. Драбинюк, Т.С. Вініченко, І.І. Мойсієнко та О.М. Деркач (Соломаха та ін., 2006). Зокрема, автори класифікували досліджені угруповання в межах трьох класів (*Asplenietea trichomanis*, *Sedo-Sclerantethea* і *Festuco-Brometea*) і описали нові для науки асоціації *Moehringietum*

hypanicae та *Sedo acri-Dianthetum hypanici* (Ширяєва та ін., 2020). Біоморфологічні та популяційні особливості *D. hypanicus* у Кодимо-Єланецькому Побужжі досліджувала О.Ф. Щербакова (Щербакова, 2008). Також нею з'ясовано біоморфологічні та демографічні особливості *D. hypanicus* у Гранітно-степовому Побужжі (Щербакова, 2006). Стан популяції *D. hypanicus* на Кіровоградщині досліджувала І.М. Бармак (Бармак, 2006). На зростання *M. hypanica* у НПП «Бузький Гард» вказує Т.О. Чичкалюк (Чичкалюк, 2007). Рідкісні види та оселища НПП «Бузький Гард» досліджували В.А. Артамонов, А.П. Біатов, Г.В. Коломієць, А.А. Куземко, Д.В. Ширяєва, О.М. Деркач, Д.С. Винокуров, І.І. Мойсієнко, Я.В. Овсієнко, С.П. Артамонова (Артамонов та ін., 2018; Артамонов та ін., 2021; Ширяєва та ін., 2020).

Матеріал і методи

Експедиційні дослідження здійснювали у II–III декаді липня, впродовж 2019–2023 рр., на території НПП «Бузький Гард» (Миколаївська область) (Джус та ін., 2024; Dzhus et al., 2024). Місцезнаходження видів на досліджуваній території відмічені за допомогою доступних інструментів на вебсайті «SimpleMappr» (<https://www.simplemappr.net>).

Чисельність і щільність рослин визначали згідно з методичними рекомендаціями щодо ведення фенологічних спостережень за рослинами на території природно-заповідного фонду. У малочисельних популяціях підраховувалися всі особини, у багаточисельних – за схемою: 101–250, 251–500, 501–1000, 1001–10000.

Щільність визначали на площадках від 0,25 м² до 4 м², у залежності від площі популяції (Драбинюк, 2016).

Аналіз онтогенетичної структури популяції досліджуваних видів здійснювали у два етапи: спочатку проводили поділ онтогенезу на окремі дискретні онтогенетичні стани, а потім у популяціях підраховували співвідношення особин наявних різних вікових станів (Злобін та ін., 2025).

Для періодизації онтогенезу *D. hypanicus* використовували дослідження О.Ф. Щербакової (Щербакова, 2008).

Для *M. hypanica* та *S. hypanica* ми виділяли 10 онтогенетичних станів за ключовими ознаками (Злобін, 2009). Одержані дані обробляли за допомогою комп'ютерної програми ANONS, розробленої Ю.А. Злобіним.

Для інтегральної характеристики онтогенетичної структури популяцій визначали кількісні індекси та індекс загальної віковості популяції, розроблені І.М. Коваленком (Коваленко, 2005).

Ці індекси в сукупності дозволяють досить точно схарактеризувати загальний стан популяції й особливо зручні для порівняльного аналізу популяцій одного й того ж виду рослин, які зростають у різних еколого-ценотичних умовах (Злобін та ін., 2025).

Визначення категорії життєвості видів здійснювали за даними І.М. Григори та В.А. Соломахи (Григора і Соломаха, 2000).

Результати

Нами було досліджено 6 популяцій *D. hypanicus*, 3 популяції *M. hypanica* та 4 популяції *S. hypanica*, у межах досліджуваної території (рис. 1).

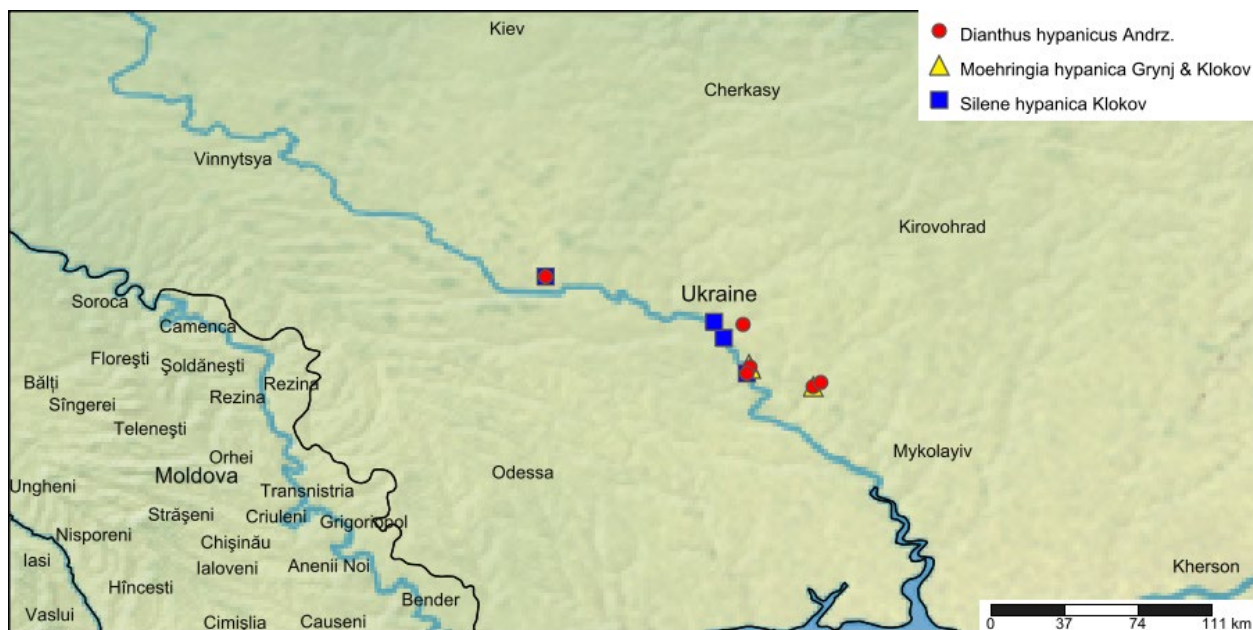


Рис. 1. Місцезнаходження досліджуваних видів

Особини *D. hupanicus* зростають на кам'янисто-щебенистих ґрунтах (п. 1, 3), у тріщинах гранітів (п. 2) та їх виходах (п. 4, 5). Встановлено, що середня кількість особин *D. hupanicus* за роки досліджень варіює від $11,5 \pm 1,4$ до $45,6 \pm 2,7$. Після визначення зовнішньої межі популяційного поля їх площа була оцінена від 1300 до 5200 м² (табл. 1).

За категорією життєвості п. 4 має три бали, оскільки вид у фітоценозі проходить повний цикл розвитку, який завершується утворенням плодів і насіння з малоактивним розсіюванням насіння й поширенням. Усі інші відносимо до категорії 3а, тобто вид у фітоценозі проходить повний цикл розвитку (всі його фази: вегетації, бутонізації, цвітіння, пло-

Таблиця 1

Характеристика місць зростання *D. hupanicus*

№ п-ції	Місце збору даних (район, село, урочище, квартал, виділ, балка)	Площа, яку займає популяція, м ²	Щільність (загальна кількість)	Характеристика місця зростання	Чи є загроза зникнення і яка?	Категорія життєвості виду
1.	Вознесенський район, околиці с. Актове	4700	44,9±2,3	кам'янисто-щебенисті ґрунти	видобуток граніту, витоптування, затоплення та опосередковані зміни місцезростань унаслідок створення водосховищ, російська агресія	3а
2.	Братський район, Петропавлівський каньйон, околиці с. Петропавлівка	1700	15,0±1,4	у тріщинах, на відслоненнях гранітів	видобуток граніту, витоптування, затоплення та опосередковані зміни місцезростань унаслідок створення водосховищ, російська агресія	3а
3.	Доманівський район, між околицями с. Щуцьке й Виноградний сад	3100	29,8±1,28	кам'янисто-щебенисті ґрунти	видобуток граніту, витоптування, затоплення та опосередковані зміни місцезростань унаслідок створення водосховищ, російська агресія	3а
4.	Вознесенський район, поблизу м. Південно-українськ, біля острова Клепаний, урочище Гард	5200	49,3±1,84	кам'янистий степ, виходи граніту	видобуток граніту, витоптування, затоплення та опосередковані зміни місцезростань унаслідок створення водосховищ, російська агресія	3
5.	Арбузинський район, околиці с. Благодатне	1300	11,5±1,4	округлі скелясті виходи	видобуток граніту, витоптування, затоплення та опосередковані зміни місцезростань унаслідок створення водосховищ, російська агресія	3а
6.	Вознесенський район, околиці с. Богданівка	4900	45,6±2,7	зверху гранітних відслонень	видобуток граніту, витоптування, затоплення та опосередковані зміни місцезростань унаслідок створення водосховищ, російська агресія	3а

доношення), нормально плодоносить та висіває насіння. Найбільша чисельність особин у п. 1, 3, 4 та 6 (табл. 2).

В онтогенетичній структурі виділено сім онтогенетичних станів, проростків та сенільних рослин виявлено не було.

У вікових спектрах переважають генеративні особини (п. 1, 2, 3, 4, 5, 6), а у п. 5 спостерігається суттєве зменшення g_2 й g_3 (рис. 2). Ймовірно, це спричинено переходом особин у стан спокою: увесь вегетаційний період обмежується функціонуванням кореневищ, рослини не утворюють надземного пагона.

За результатами підрахунку в популяціях особин різних онтогенетичних станів та на основі їх співвідношення з'ясовано, що всі популяції відносяться до категорії неповночленних, оскільки нами не було виявлено проростків та сенільних рослин. За віковими спектрами вони відносяться до центрованих, з найбільшою часткою генеративних особин (табл. 2, рис. 2).

Особини *M. huranica* зростають групами, у тріщинах гранітних скель, переважно заповнених дрібним камінням, на південній, південно-східній та північно-східній експозиції й займають площу від 1000 до 5200 м² (табл. 3).

Установлено, що загальна кількість особин варіює від 8,8±1,6 до 50,4±1,6, залежно від площі популяції. За категорією життєвості дві популяції (1, 2) мають бал 3а, тобто вид у фітоценозі проходить повний цикл розвитку, нормально плодоносить та висіває насіння. Популяція 3 має три бали, оскільки вид у фітоценозі проходить повний цикл розвитку, який завершується утворенням плодів і насіння з малоактивним розсіюванням насіння й поширенням плодів (табл. 3).

Найбільшу кількість особин у доступних місцях поширення було зафіксовано в популяції 2 (53 особини), але морфологічні ознаки подушок були дещо в пригніченому стані. На нашу думку, це пов'язано

Таблиця 2

Онтогенетична структура популяцій *D. huranica*

№ п/п	Всього особин/м ²	Онтогенетичні стани									Кількісні індекси			
		p	j	im	v	g ₁	g ₂	g ₃	ss	s	відновлюваності	старіння	генеративності	загальна віковість
1.	48	0	2,08	2,08	6,25	16,67	22,92	45,83	4,17	0	10,42	50,00	85,42	4,80
2.	19	0	10,53	10,53	5,26	15,79	42,11	10,53	5,26	0	26,32	15,79	68,42	0,60
3.	32	0	3,13	9,38	6,25	18,75	34,38	12,50	15,63	0	18,75	28,13	65,63	1,50
4.	53	0	1,89	1,89	3,77	13,21	24,53	47,17	7,55	0	7,55	54,72	84,91	7,25
5.	14	0	7,14	14,29	21,43	35,71	7,14	7,14	7,14	0	42,86	14,29	50,00	0,33
6.	51	0	3,92	5,88	9,80	17,65	33,33	27,45	1,96	0	19,61	29,41	78,43	1,50

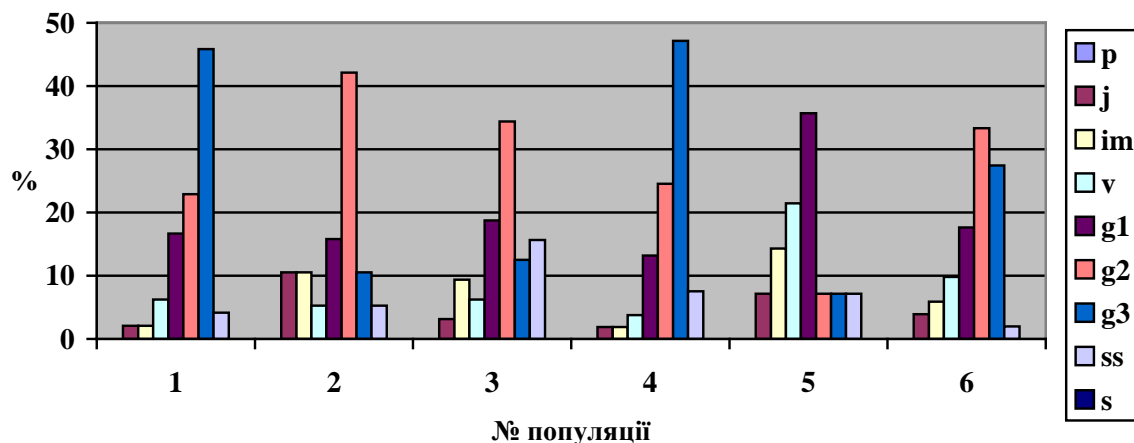


Рис. 2. Вікові спектри досліджуваних популяцій *D. huranica*

з підвищенням температурного режиму й малій кількості опадів у поточному році. Показники індексу відновлення варіюють від 13,21% до 43,75%, індекс старіння – від 12,50% до 50,94%, індекс генеративності – від 50,00% до 77,36%, індекс віковості – від 0,29% до 3,86% (табл. 4). Вегетативне поновлення відсутнє. Насінневе поновлення незадовільне, оскільки тенденція щорічного збільшення особин відсутня, але при цьому генеративні особини цвітуть і плодоносять.

У складі популяцій 1, 3 переважають g_1 й g_2 , із незначною кількістю v й g_3 . Нами з'ясовано, що популяції *M. hupanica* відносяться до неповночленного типу (не присутні всі вікові стани) та центрованого вікового спектра, оскільки в них простежується збільшення чисельності особин від віргінільних до старих генеративних (рис. 3).

Особини *S. hupanica* зростають на гранітних відслоненнях, у кам'янисто-щебенистих ґрунтах і займають площу від 2300 до 5700 м² (табл. 5). Щільність особин

Таблиця 3

Характеристика місць зростання *M. hupanica*

№ п-ції	Місце збору даних (район, село, урочище, квартал, виділ, балка)	Площа, яку займає популяція, м ²	Щільність (загальна кількість)	Характеристика місця зростання	Чи є загроза зникнення і яка?	Категорія життєвості
1.	Вознесенський р-н, околиці м. Південноукраїнськ, біля острова Клепаний, урочище Гард	1400	12,9±1,8	у тріщинах гранітних скель	видобуток граніту, затоплення та опосередковані зміни місцезростань унаслідок створення водосховищ, російська агресія	3а
2.	Вознесенський р-н, околиці м. Південноукраїнськ, Ташлицька гідроакумуюча електростанція (ТГАЕС)	5200	50,4±1,6	зверху гранітних відслонень	затоплення та опосередковані зміни місцезростань унаслідок створення водосховищ, російська агресія	3а
3.	Вознесенський р-н, околиці с. Актове	1000	8,8±1,6	у тріщинах прямовисних скель	видобуток граніту, затоплення та опосередковані зміни місцезростань унаслідок створення водосховищ, російська агресія	3

Таблиця 4

Онтогенетична структура популяцій *M. hupanica*

№ п/п	Всього особин/м ²	Онтогенетичні стани									Кількісні індекси			
		p	j	im	v	g ₁	g ₂	g ₃	ss	s	відновою-ваності	старіння	генеративності	загальна віковість
1.	16	0	12,5	12,5	18,75	31,25	12,50	6,25	6,25	0	43,75	12,50	50,00	0,29
2.	53	0	3,77	3,77	5,66	15,09	20,75	41,51	9,43	0	13,21	50,94	77,36	3,86
3.	11	0	9,09	9,09	9,09	18,18	27,27	18,18	9,09	0	27,27	27,27	63,64	1,00

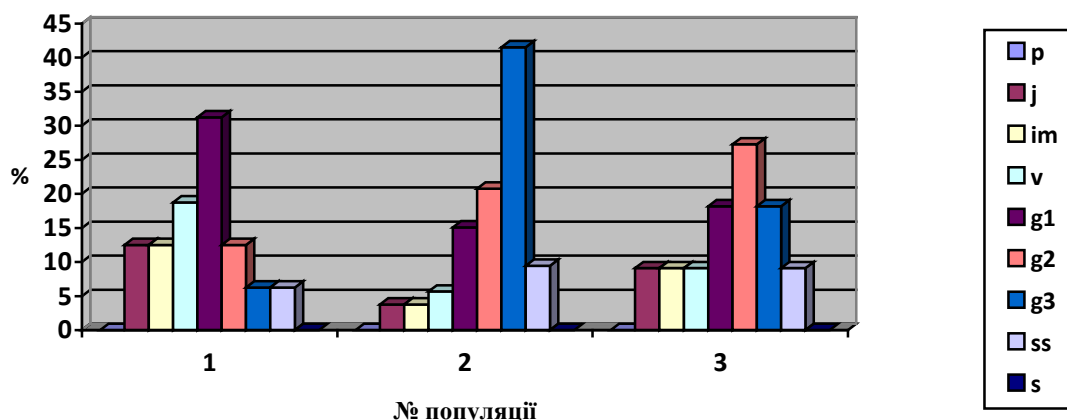


Рис. 3. Вікові спектри досліджуваних популяцій *M. hupanica*

Таблиця 5

Характеристика місць зростання *S. hupanica*

№ п-ції	Місце збору даних (район, село, урочище, квартал, виділ, балка)	Площа, яку займає популяція, м ²	Щільність (загальна кількість)	Характеристика місця зростання	Чи є загроза зникнення і яка?	Категорія життєвості
1.	Доманівський р-н, між околицями сіл Щуцьке й Виноградний сад	5700	54,6±1,9	кам'янисто-щебенисті ґрунти	видобуток граніту, витоптування, опосередковані зміни місцезростань унаслідок створення водосховищ, російська агресія	3
2.	Арбузинський р-н, околиці с. Семенівка	3600	34,9±1,3	гранітні відслонення	видобуток граніту, витоптування, опосередковані зміни місцезростань унаслідок створення водосховищ, російська агресія	3а
3.	Вознесенський р-н, околиці с. Богданове	2300	22,3±1,7	між гранітними брилами	видобуток граніту, витоптування, опосередковані зміни місцезростань унаслідок створення водосховищ, російська агресія	3
4.	Первомайський р-н, околиці с. Курігчине	4700	45,4±1,2	скаля	видобуток граніту, витоптування, опосередковані зміни місцезростань унаслідок створення водосховищ, російська агресія	3а

варіює від 22,3±1,7 до 54,9±1,9. За категорією життєвості дві популяції (2, 4) мають бал 3а, тобто вид у фітоценозі проходить повний цикл розвитку, нормально плодоносить і висіває насіння. Популяції 1, 3 мають три бали, оскільки вид у фітоценозі проходить повний цикл розвитку, який завершується утворенням плодів і насіння з малоактивним розсіюванням насіння й поширенням плодів (табл. 5).

Найбільшу кількість особин *S. huranica* було виявлено в популяції 4 (477 особин), які зростають групами по площі фітоценозу. Показники індексу відновлюваності варіюють від 15,72% до 76,84%, індекс старіння – від 15,51% до 27,87%, індекс генеративності – від 24,80% до 73,58%, індекс віковості – від 0,32% до 0,99% (табл. 6). Насіннєве поновлення задовільне у всіх популяціях, оскільки в популяції 3 присутня велика частка іматурних особин та g_3 , а в популяціях 1, 2, й 4 спостерігається значна частка генеративних особин, які цвітуть і плодоносять (табл. 6).

У віковому спектрі популяції 3 переважають іматурні особини. Їх відсоткова частка в різні роки спостережень майже не змінювалася, хіба що була дещо вищою

у 2022 р. Субсенільні особини відзначали лише під час досліджень 2019–2020 р. (10,69%). Найменша частка особин припадає на ювенільні особини (від 1,47 до 8,11%). Таким чином, вікові спектри популяцій неповночленні, 1, 2 і 3 – лівобічні, а 4 – центрована (рис. 4).

Висновки

Здійснено комплексні дослідження трьох рідкісних видів рослин, що зростають на території Національного природного парку «Бузький Гард». Установлено, що досліджувані популяції толерантні, мають позитивну динаміку показників щільності. Відповідно до абсолютної кількості особин усі досліджувані популяції відносимо до багаточисельних. З'ясовано, що майже всі досліджувані популяції нормальні, в них зареєстровано значну кількість генеративних особин.

Отже, *D. huranicus*, *M. huranica* та *S. huranica* ростуть у сприятливих умовах, розвиток їх популяцій задовільний. Вважаємо за необхідне вказати, що видобуток граніту, витоптування, опосередковані зміни місцезростань унаслідок створення водосховищ та російська агресія можуть вплинути на зникнення міс-

Таблиця 6

Онтогенетична структура популяцій *S. huranica*

№ п-ції	Всього особин/м ²	Онтогенетичні стани									Кількісні індекси			
		p	j	im	v	g ₁	g ₂	g ₃	ss	s	ВІДНОВАЮВ АНОСТІ	старіння	генерати- ВНОСТІ	загальна віковість
1.	61	0	6,56	31,15	19,67	8,20	6,56	27,87	0	0	57,38	27,87	42,62	0,49
2.	37	0	8,11	13,51	32,43	13,51	10,81	21,62	0	0	54,05	21,62	45,95	0,40
3.	25	0	4,39	74,26	0	0	0	24,80	0	0	76,84	24,80	24,80	0,32
4.	477	0	1,47	5,24	9,01	15,93	52,83	4,82	10,69	0	15,72	15,51	73,58	0,99

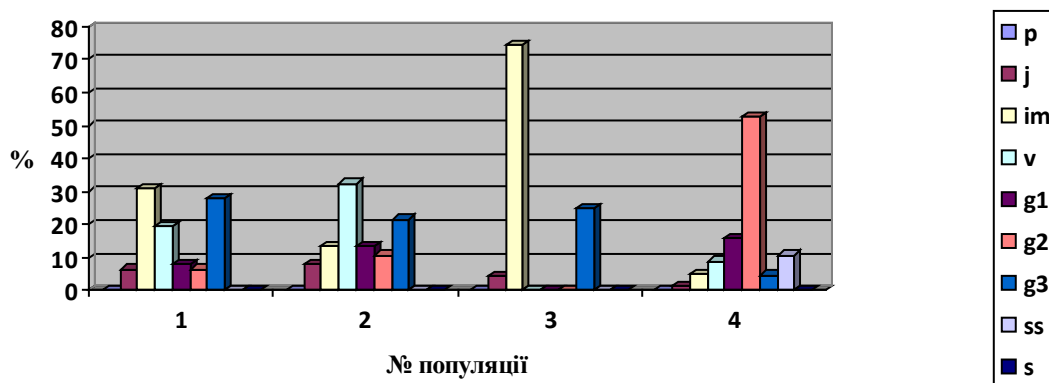


Рис. 4. Вікові спектри досліджуваних популяцій *S. huranica*

цезнаходжень цих видів, які відомі лише в Україні.

Подяки. Автори висловлюють подяку директору природного заповідника «Єланецький степ» Галині Драбинюк за підтримку у виявленні нових місцезнаходжень досліджуваних видів на території Національного природного заповідника «Бузький Гард»; доктору біологічних наук,

провідному науковому співробітнику відділу геоботаніки та екології Інституту ботаніки імені М.Г. Холодного НАН України за допомогу в проведенні популяційного моніторингу Анні Куземко та професору, доктору біологічних наук, Заслуженому діячу науки і техніки України Юліану Злобіну за надану комп'ютерну програму ANONS.

Список використаної літератури

Артамонов В.А., Біатов А.П., Коломієць Г.В., Куземко А.А., Ширяєва Д.В. Рідкісні види та оселища НПП «Бузький Гард» і прилеглих до нього ділянок, що знаходяться під загрозою зникнення за умови підвищення рівня Олександрівського водосховища до НПР 20,7 м. / В.А. Артамонов та ін. *Рослинний світ у Червоній книзі України: впровадження Глобальної стратегії збереження рослин* : матеріали V міжнар. конф. Херсон, 2018. С. 159–161.

Артамонов В.А., Легкий С.В., Овсієнко Я.В., Ширяєва Д.В. Перелік видів судинних рослин Миколаївської області, що занесені до Червоної книги України та Резолюції 6 Бернської конвенції / В.А. Артамонов та ін. *Матеріали VII Наукових читань пам'яті Сергія Таращука*. Миколаїв, 2021. С. 113–121.

Бармак І.М. Стан модельних популяцій *Dianthus hyarpanicus* Andr. (Caryophyllaceae) на Кіровоградщині. *Український ботанічний журнал*. 2006. Т. 63. № 5. С. 694–698.

Григора І.М., Соломаха В.А. Основи фітосоціології. Київ : Фітосоціоцентр, 2000. С. 6.

Джус Л.Л., Куземко А.А., Ковальчук Т.Д., Діденко І.П. Стан популяції *Moehringia hyarpanica in situ* / Л.Л. Джус та ін. *XV З'їзд Українського ботанічного товариства : збірник наукових праць*. Івано-Франківськ, 2024. С. 141.

Злобін Ю.А. Популяційна екологія рослин: сучасний стан, точка росту : монографія. Суми : Університетська книга, 2009. С. 108–110.

Злобін Ю.А., Скляр В.Г., Клименко Г.О. Біологія та екологія фітопопуляцій : монографія / за заг. ред. професора, доктора біологічних наук, заслуженого діяча науки і техніки України Ю.А. Злобіна. Суми : Університетська книга, Стереотип, 2025. С. 248–249.

Коваленко І.М. Структура популяцій домінантів трав'яно-чагарничкового ярусу в лісових фітоценозах Деснянсько-Старогутського національного природного парку. I. Онтогенетична структура. *Український ботанічний журнал*. 2005. Т. 62. № 5. С. 707–714.

Методичні рекомендації щодо ведення фенологічних спостережень за рослинами на території природно-заповідного фонду / за ред. Г.В. Драбинюк. РЛП «Приінгульський», 2016. С. 6–7.

Соломаха В.А., Драбинюк Г.В., Вініченко Т.С., Мойсієнко І.І., Деркач О.М. Адаптивні особливості південнобузьких ендемів *Dianthus hyarpanicus* Andr. та *Moehringia hyarpanica* Grynj et Klok / В.А. Соломаха та ін. *Український фітоценологічний збірник*. Київ, 2006. Сер. С. Вип. 24. С. 71–86.

Хархота Г.І., Прохорова С.І., Агурова І.В. Адаптація степових видів рослин у техногенних екотопах Південного Сходу України. *Чорноморський ботанічний журнал*. Київ, 2013. Т. 9. № 1. С. 18.

Чичкалюк Т.О. Становлення природно-заповідного фонду Миколаївської області як основного фактора розвитку туристської інфраструктури. *Наукові праці. Серія: Техногенна безпека*. 2007. Вип. 60. Т. 73. С. 90–94.

Ширяєва Д.В., Коломієць Г.В., Деркач О.М., Винокуров Д.С., Мойсієнко І.І., Драбинюк Г.В., Овсієнко Я.В., Артамонова С.П., Куземко А.А. Рідкісні рослини національного природного парку «Бузький Гард» : Атлас-довідник / Д.В. Ширяєва та ін. Київ : ПАЛИВОДА А.В. 2020. С. 12. 32, 36.

Щербакова О.Ф. Біоморфологічні та демографічні особливості *Dianthus hyarpanicus* Andr. в Гранітно-степовому Побужжі. *Актуальні проблеми ботаніки, екології та біотехнології* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. Київ, 2006. С. 66–67.

Щербакова О.Ф. Біоморфологічні та популяційні особливості *Dianthus hyarpanicus* Andr. в Кодимо-Єланецькому Побужжі. *Український ботанічний журнал*. Київ, 2008. Т. 65. № 4. С. 552–564.

Dzhus L., Kovalchuk T., Didenko I., Parubok M. & Rozborska L. Morphostructure of *Moehringia hyarpanica* Gryn & Klovok in the Buzky Gard National Nature Park, Ukraine. *Trakya Univ J Nat Sci*, 2024. Vol. 25 № 1. P. 29–40. <https://doi.org/10.23902/trkjnat.1315772>.

References

- Artamonov, V.A., Biatov, A.P., Kolomiets, H.V., Kuzemko, A.A., & Shyriaieva, D.V. (2018). Ridkisini vydy ta oselyshcha NPP «Buzkyi Hard» i prylehlykh do noho dilianok, shcho znakhodiatsia pid zahrozoiu znyknennia za umovy pidvyshchennia rivnia Oleksandrivskoho vodoskhovyshcha do NPR 20,7 m. [Rare species and habitats in the Buzky Gard National Nature Park and surrounding areas are at risk of extinction if the level of the Oleksandrivskyi Reservoir rises to 20.7 m.]. *Roslynni svit u Chervonii knyzi Ukrainy: vprovadzhennia Hlobalnoi stratehii zberezhenia roslyn: materialy V mizhnar. konf.* – *The plant world in the Red Book of Ukraine: implementation of the Global Strategy for Plant Conservation*: Kherson, 159–161 [in Ukrainian].
- Artamonov, V.A., Lehkyi, S.V., Ovsienko, Ya.V., & Shyriaieva, D.V. (2021). Perelik vydiv sudynnykh roslyn Mykolaivskoi oblasti, shcho zaneseni do Chervonoj knyhy Ukrainy ta Rezoliutsii 6 Bernskoi konventsii [List of vascular plant species in the Mykolaiv region that are included in the Red Book of Ukraine and Resolution 6 of the Bern Convention]. *Materialy VII Naukovykh chytan pamiati Serhii Tarashchuka.* – *Materials from the VII Scientific Readings in Memory of Serhii Tarashchuk*. Mykolaiv, 113–121 [in Ukrainian].
- Barmak, I.M. (2006). Stan modelnykh populiatsii *Dianthus hypanicus* Andr. (Caryophyllaceae) na Kirovohradshchyni [The state of model populations of *Dianthus hypanicus* Andr. (Caryophyllaceae) in the Kirovograd region.]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal.* – *Ukrainian Botanical Journal*, 63 (5), 694–698 [in Ukrainian].
- Hryhora, I.M., & Solomakha, V.A. (2000). Osnovy fitosotsiologii [Fundamentals of phytosociology]. Kyiv : Fitosotsiotsentr, P. 6 [in Ukrainian].
- Dzhus, L.L., Kuzemko, A.A., Kovalchuk, T.D, & Didenko, I.P. (2024). Stan populiatsii *Moehringia hypanica in situ* [The status of the *Moehringia hypanica* population in situ]. *XV Zizd Ukrainskoho botanichnoho tovarystva: zbirnyk naukovykh prats.* – *XV Congress of the Ukrainian Botanical Society: collection of scientific papers*. Ivano-Frankivsk, P. 141 [in Ukrainian].
- Zlobin, Yu.A. (2009). Populiatsiina ekolohiia roslyn: suchasnyi stan, tochka rostu: monohrafiia [Population ecology of plants: current status, growth point: monograph]. Sumy: Universytetska knyha, 108–110 [in Ukrainian].
- Zlobin, Yu.A., Skliar, V.H., & Klymenko, H.O. (2025). Biolohiia ta ekolohiia fitopopuliatsii: monohrafiia / za zah. red. profesora, doktora biolohichnykh nauk, Zasluzhenoho diiacha nauky i tekhniky Ukrainy Yu.A. Zlobina [Biology and ecology of phytopopulations: monograph / edited by Professor Y.A. Zlobin, Doctor of Biological Sciences, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine]. Sumy : Universytetska knyha, Stereotyp, 248–249 [in Ukrainian].
- Kovalenko, I.M. (2005). Struktura populiatsii dominantiv traviano-chaharnychkovoho yarusu v lisovykh fitotsenozakh Desniansko-Starohutskoho natsionalnoho pryrodnoho parku. I. Ontohenetychna struktura [The structure of dominant herbaceous and shrubby layer populations in forest phytocenoses of the Desniansko-Starogutsky National Nature Park. I. Ontogenetic structure]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal [Ukrainian Botanical Journal]*, 62 (5), 707–714 [in Ukrainian].
- Drabyniuk, H.V. (red.) (2016). Metodychni rekomendatsii shchodo vedennia fenolohichnykh sposterezhen za roslynamy na terytorii pryrodno-zapovidnoho fondu [Methodological recommendations for conducting phenological observations of plants in the territory of the nature reserve fund]. RLP «Pryinhulskyi», 6–7 p. [in Ukrainian].
- Solomakha, V.A., Drabyniuk, H.V., Vinichenko, T.S., Moisiienko, I.I., & Derkach, O.M. (2006). Adaptivni osoblyvosti pvidnobbuzkykh endemiv *Dianthus hypanicus* Andr. and *Moehringia hypanica* Gryn'j et Klok [Adaptive features of the South Bug endemics of *Dianthus hypanicus* Andr. and *Moehringia hypanica* Gryn'j et Klok]. *Ukrainskyi fitotsenotychnyi zbirnyk [Ukrainian phytocoenotic collection]*, 70–86. [in Ukrainian].
- Kharkhota, H.I., Prokhorova, S.I., & Ahurova, I.V. (2013). Adaptatsiia stepovykh vydiv roslyn u tekhnohennykh ekotopakh Pivdennoho Skhodu Ukrainy [Adaptation of steppe plant species in technogenic ecotopes of southeastern Ukraine]. *Chornomorskyi botanichnyi zhurnal [Black Sea Botanical Journal]*, 9 (1), P. 18 [in Ukrainian].
- Chyckaliuk, T.O. (2007). Stanovlennia pryrodno-zapovidnoho fondu Mykolaivskoi oblasti yak osnovnoho faktora rozvytku turystskoi infrastruktury [The establishment of the Mykolaiv Region Nature Reserve Fund as a key factor in the development of tourism infrastructure]. *Naukovi pratsi. Serii: Tekhnohenna bezpeka [Scientific works. Series: Technological security]*, 60 (73), 90–94 [in Ukrainian].
- Shyriaieva, D.V., Kolomiets, H.V., Derkach, O.M., Vynokurov, D.S., Moisiienko, I.I., Drabyniuk, H.V., Ovsienko, Ya.V., Artamonova, S.P., & Kuzemko, A.A. (2020). Ridkisini roslyny natsionalnoho

pryrodnoho parku «Buzkyi Hard» [Rare plants of the Buzky Gard National Nature Park]. *Atlas-dovidnyk [Atlas-reference book]*. Kyiv: PALYVODA A.V. P. 12, 32, 36 [in Ukrainian].

Shcherbakova, O.F. (2006). Biomorfologichni ta demografichni osoblyvosti *Dianthus hypanicus* Andr. v Hranitno-stepovomu Pobuzhzhzi [Biomorphological and demographic characteristics of *Dianthus hypanicus* Andr. in the Granite-Steppe Pobuzhzhya]. *Aktualni problemy botaniky, ekolohii ta biotekhnolohii [Current issues in botany, ecology, and biotechnology]: materialy mizhnar. nauk.-prakt. konf.*, Kyiv, 66–67 p. [in Ukrainian].

Shcherbakova, O.F. (2008). Biomorfologichni ta populiatsiini osoblyvosti *Dianthus hypanicus* Andr. v Kodymo-Yelanetskomu Pobuzhzhzi [Biomorphological and population characteristics of *Dianthus hypanicus* Andr. in the Kodymo-Yelanets Pobuzhzhya region]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal [Ukrainian Botanical Journal]*, 65 (4), 552–564 [in Ukrainian].

Dzhus, L., Kovalchuk, T., Didenko, I., Parubok, M., & Rozborska, L. (2024). Morphostructure of *Moehringia hypanica* Gryn & Klovov in the Buzky Gard National Nature Park, Ukraine. *Trakya Univ J Nat Sci.*, 25 (1), 29–40. <https://doi.org/10.23902/trkjnat.1315772> [in English].

Отримано: 28.07.2025

Прийнято: 08.09.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 582.736.3:632

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.6>

**ФОТОСИНТЕТИЧНІ ПІГМЕНТИ ЛИСТКІВ СОЧЕВИЦІ ХАРЧОВОЇ
(*LENS CULINARIS* MEDIK.) ЗА ВПЛИВУ МІКРОБНИХ ПРЕПАРАТІВ
І ПРОТРУЙНИКА МАКСИМ**

В. О. Козак¹, І. В. Чернік², С. В. Пида³, М. А. Крижановська⁴

Метою роботи було дослідити вплив монооброблення насіння перед сівбою мікробними препаратами (МБП) *Rizoboфit*, *Rhizobium leguminosarum biovar viceae* (*R. leg*) штамів: С4-30, 724, Ф 11-2, Ф 16-1 та сумісної з протруйником фунгіцидного типу дії Максим на динаміку накопичення хлорофілів і основних каротиноїдів у листках сочевиці харчової сорту *Red* в умовах Західного Лісостепу України.

Lens culinaris є не лише цінним джерелом амінокислот та рослинних білків, а й незамінною ланкою у функціонуванні бобово-ризобіального симбіозу. Встановлено, що накопичення фотосинтетичних пігментів у листках сочевиці харчової залежить від інокуляції насіння мікробними препаратами, сумісного їх застосування з протруйником Максим та фенологічної фази росту й розвитку рослин.

За впливу *R. leg* С4-30 та *R. leg* 724 визначено статистично вірогідне підвищення вмісту хлорофілів у мезофілі листків упродовж генеративних фаз розвитку рослин. Моноінокуляція МБП та їх сумісне застосування з протруйником Максим у технології вирощування сочевиці харчової суттєво впливали на накопичення в листках хлорофілу *a*. Його вміст за впливу штамів *R. leg* зростав до 22,4%. За інокуляції насіння *R. leg* штаму 724 листки сочевиці харчової характеризувалися найвищим значенням показників суми хлорофілів (*a+b*) у фазі бутонізації – початок цвітіння (приріст

¹ аспірантка кафедри ботаніки та зоології
(Тернопільський національний педагогічний університет імені В. Гнатюка, м. Тернопіль)
e-mail: shelest.1995@ukr.net
ORCID: 0009-0003-5762-4682

² аспірант кафедри ботаніки та зоології
(Тернопільський національний педагогічний університет імені В. Гнатюка, м. Тернопіль)
e-mail: igor77cheri@gmail.com
ORCID: 0009-0002-4966-0475

³ доктор сільськогосподарських наук,
професор кафедри ботаніки та зоології
(Тернопільський національний педагогічний університет імені В. Гнатюка, м. Тернопіль)
e-mail: spyda@ukr.net
ORCID: 0000-0002-7858-104X

⁴ кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри ботаніки та зоології
(Тернопільський національний педагогічний університет імені В. Гнатюка, м. Тернопіль)
e-mail: kryganovska@chem-bio.com.ua
ORCID: 0000-0002-7802-5246

19,7%) та основних каротиноїдів у фазі цвітіння (приріст 27,2%). За моновпливу протруйника встановлено зростання показника суми зелених пігментів у мезофілі листків на 6%, лише у фазі бутонізації – початок цвітіння. За сумісного використання МБП з протруйником Максим виявлено підвищення вмісту хлорофілів у фазах бутонізації – початок цвітіння (варіанти Ризобіфіт та *R. leg C4-30*), цвітіння та стиглого бобу (варіанти *R. leg 724*, *R. leg Ф 11-2*, *R. leg Ф 16-1*). Найвищим умістом хлорофілів у листках характеризувалися рослини *Lens culinaris* у фазі бутонізації – початок цвітіння, децю нижчим під час цвітіння. У фазах зеленого і стиглого бобу кількість хлорофілів зменшувалася, що пов'язано зі старінням листків. Пік накопичення каротиноїдів у листках рослин сочевиці виявлено у фазі цвітіння.

Комплексне застосування в технології вироцивання сочевиці харчової сорту Red Ризобіфіту, активних штамів *R. leg* та протруйників дозволить інтенсифікувати фотосинтетичні процеси шляхом поліпшення азотного живлення рослин унаслідок біологічної фіксації нітрогену азотфіксвальними системами, реалізувати потенціал захисних властивостей від грибкових захворювань та, як наслідок, підвищити урожайність культури.

Ключові слова: *Lens culinaris*, хлорофіли, каротиноїди, бактеріальні препарати, протруйник, фунгіциди.

PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN FOOD LENTIL LEAVES UNDER THE INFLUENCE OF MICROBIAL PREPARATIONS AND THE MAXIM FUNGICIDE

V. O. Kozak, I. V. Chernik, S. V. Pyda, M. A. Kryzhanovsjka

The aim of the study was to investigate the effect of seed treatment with microbial preparations (MBP) *Rizobiofit*, *Rhizobium leguminosarum biovar viceae* (*R. leg*) strains: C4-30, 724, F 11-2, F 16-1 compatible with the fungicide Maxim on the dynamics of chlorophyll and main carotenoid accumulation in the leaves of Red lentils in the conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine.

Lens culinaris is not only a valuable source of aminoacids and plant proteins, but also an indispensable link in the functioning of the legume-rhizobial symbiosis. It has been established that the accumulation of photosynthetic pigments in the leaves of edible lentils depends on the inoculation of seeds with microbial preparations, their combined use with the Maxim fungicide, and the phenological phase of plant growth and development.

Under the influence of *R. leg C4-30* and *R. leg 724*, a statistically significant increase in chlorophyll content in leaf mesophyll during the generative phases of plant development has been determined.

Monoinoculation of MBP and their combined use with the Maxim fungicide in the cultivation of edible lentils has significantly affected the accumulation of chlorophyll a in the leaves. Its content has increased to 22,4% under the influence of *R. leg* strains. When inoculated with *R. leg* strain 724 seeds, edible lentil leaves have been characterized by the highest values of total chlorophyll (a+b) in the budding phase – the beginning of flowering (increase of 19,7%) and the main carotenoids in the flowering phase (increase of 27,2%). The single effect of the seed treatment agent has resulted in a 6% increase in the sum of green pigments in the mesophyll of the leaves, only in the budding phase – the beginning of flowering. When

MBP has been used in combination with the Maxim fungicide, an increase in chlorophyll content has been observed in the budding phase – the beginning of flowering (*Rizobiofit* and *R. leg C4-30* variants), flowering, and ripe bean phases (*R. leg 724*, *R. leg Ф 11-2*, *R. leg F 16-1*).

The highest chlorophyll content in leaves has been found in *Lens culinaris* plants in the budding-early flowering phase, slightly lower during flowering. In the green and ripe bean phases, the amount of chlorophyll has decreased, which is associated with leaf ageing. The peak accumulation of carotenoids in lentil leaves has been found during the flowering phase.

The comprehensive application of *Rhizobiofit*, active strains of *R. leg* strains, and seed dressings in the cultivation of edible lentils will intensify photosynthetic processes by improving nitrogen nutrition of plants due to biological nitrogen fixation by nitrogen-fixing systems, realize the potential of protective properties against fungal diseases and increase crop yields.

Key words: *Lens culinaris*, chlorophylls, carotenoids, bacterial preparations, seed dressings, fungicides.

Вступ

Сочевиця харчова (*Lens culinaris* Medik., 1787) – продовольча культура, що виділяється серед різноманітності Бобових (*Fabaceae*) завдяки інтенсивному світовому

виробництву, високому вмісту амінокислот, рослинних білків, крохмалю, харчових волокон і біоактивних фітохімічних речовин, є важливим компонентом раціону людей в усьому світі (Benmeziiane-Derradji et al.,

2020; F. Guo et al., 2023). Товарне насіння культури за вмістом білків (до 36%) поступається лише сої (Kaale et al., 2023).

Окрім харчової цінності, використання сочевиці як джерела поживних речовин є актуальним через її посухостійкість і здатність до біологічної фіксації азоту. Культура формує симбіотичні зв'язки із *Rhizobium leguminosarum biovar viciae* – швидкорослими бульбочковими бактеріями – мікросимбіонтами *L. culinaris*, засвоює до 80 кг/га атмосферного нітрогену, залишає в ґрунті 90–120 кг/га біологічного азоту (Shrestha et al., 2023; Квітко і Сауляк, 2015).

Фотосинтез – це важливий метаболічний процес рослин, який виконує ключову роль в їх рості та розвитку, а отже, має безпосередній вплив на продуктивність (Sehgal et al., 2017). Інтенсивність проходження фотосинтетичних реакцій у листках визначається вмістом і співвідношенням пластидних пігментів – хлорофілів і каротиноїдів та їх фотокаталізаторною дією (Гуляєв, 2001). Акумуляція хлорофілів *a* та *b* у листках регулює синтез біомаси, зменшення їх вмісту призводить до зниження ростових процесів у пагонах (Meland et al., 2017; Li et al. 2019; Чернік та ін., 2024).

Показано, що формування пігментного комплексу рослин залежить від низки абіотичних та біотичних факторів, у тому числі – від застосування мікробних препаратів (МБП) та засобів захисту рослин (Карпенко і Коробко, 2018). Використання бактеріальних суспензій інтенсифікує проходження обмінних процесів у рослинах, що супроводжується формуванням оптимального фотосинтетичного апарату зі збільшеним умістом у листках хлорофілів (Сиваш та ін., 2018). Установлено, що передпосівна інокуляція насіння нуту звичайного сорту Пам'ять МБП на основі *Mesorhizobium ciceri* суттєво впливала на накопичення в листках хлорофілу *a*. Їх уміст зростав на 5,9–10,9%. Виявлено також тенденцію до зростання вмісту хлорофілу *b* у мезофілі листків (Чернік та ін., 2024). Оброблення насіння гороху перед сівбою МБП Ризобофіт і Гумаксид сприяла зростанню продуктивності фотосинтезу на 12,7% і на 23,5%, порівнюючи з контролем (Калитка і Капінос, 2015).

Установлено, що такі фотосинтетичні параметри, як уміст та концентрація хлорофілів і каротиноїдів, активність RuBisCo, індекс стабільності хлорофілу є важливими показниками продуктивності фотосинтезу та можуть бути маркерами під час скринінгу

на посухо- та жаростійкість сочевиці (Sehgal et al., 2017; Ashraf, 2021; Dhull et al., 2022).

У літературі існують обмежені відомості стосовно фотосинтетичної діяльності *L. culinaris*. Відомо, що культура, як й інші бобові, розвиває листки в міру росту стебла та розвитку бічних пагонів. На початку вегетації маса листків та їх поверхня наростають менш інтенсивно, а до настання генеративних фаз розвитку – досягають максимуму (Сухова, 2012). Таким чином, існує потреба в розробленні відповідних методів інтенсифікації процесів фотосинтезу рослини.

Незважаючи на те, що *L. culinaris* є однією з культур, що сприяють глобальній продовольчій безпеці, її посіви є вразливими до захворювань, які спричиняються грибами, вірусами, нематодами, комахами-шкідниками тощо. З огляду на це інноваційна агрономічна практика вирощування бобових культур вимагає комплексних підходів, що включають передпосівну інокуляцію насіння біопрепаратами на основі селекціонованих штамів специфічних ризобіїв (Gorai et al., 2021; Parihar et al., 2022) та використання нових препаративних форм протруйників, що сприяють захисту рослин від збудників хвороб. Завдяки передпосівній інокуляції насіннєвого матеріалу на основі високоефективних конкурентоздатних штамів бульбочкових бактерій рослини *L. culinaris* здатні задовольнити свої потреби в азоті його фіксацією з атмосфери (Сухова, 2012).

Матеріал і методи

Матеріалом дослідження слугували рослини сочевиці харчової (*L. culinaris*) сорту Red, МПБ Ризобофіт (на основі торфу), штами бульбочкових бактерій *Rhizobium leguminosarum bv. viciae* (*R. leg*), протруйник фунгіцидного типу дії Максим (дієва речовина – флудиоксоніл 25 г/л).

Експериментальна частина роботи виконувалась у польових і лабораторних умовах: в агробіолабораторії Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка й лабораторії фізіології рослин і мікробіології кафедри ботаніки та зоології. Упродовж вегетації визначали вміст хлорофілів *a* і *b*, каротиноїдів у листках рослин спектрофотометричним методом за Вельбурном (Wellburn, 1994). Пігменти екстрагували зі свіжозібраних листків середнього ярусу рослин сочевиці диметилсульфоксидом. Коефіцієнти екстинкції отриманих розчинів вимірювали на спектрофотометрі UIT SFU-0172 за довжини хвиль: $\lambda = 649, 665, 480$. Вміст пластидних

пігментів визначали у чотирьох фенологічних фазах росту і розвитку рослин: бутонізації – початку цвітіння, цвітіння, зеленого бобу, стиглого бобу в чотирьох повтореннях. Статистичне оброблення результатів дослідження здійснювали за допомогою програми Excel. Схема дослідів включала такі варіанти:

- | | |
|-------------------------|----------------------------------|
| 1. Контроль | 7. Максим |
| 2. Ризобіфіт | 8. Максим+ Ризобіфіт |
| 3. <i>R. leg</i> С4-30 | 9. Максим+ <i>R. leg</i> С4-30 |
| 4. <i>R. leg</i> 724 | 10. Максим+ <i>R. leg</i> 724 |
| 5. <i>R. leg</i> Ф 11-2 | 11. Максим+ <i>R. leg</i> Ф 11-2 |
| 6. <i>R. leg</i> Ф 16-1 | 12. Максим+ <i>R. leg</i> Ф 16-1 |

За тиждень до сівби насіння сочевиці харчової сорту Red варіантів 7–12 обробляли протруйником фунгіцидного типу дії Максим, згідно з нормами виробника. У день сівби насіння варіантів контроль (1) і Максим (7) змочували водою з розрахунку 1,5% від його маси, а дослідних (варіанти 2, 8) – рідкою формою Ризобіфіту, (варіанти 3–6 і 9–12) культурами бульбочкових бактерій сочевиці (*R. leg*) зазначених вище штамів. Культури бульбочкових бактерій і МБП отримали з Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН України (Ризобіфіт, *R. leg* С4-30) та Інституту фізіології рослин і генетики НАН України (*R. leg* 724, *R. leg* Ф 11-2, *R. leg* Ф 16-1).

Результати та їх обговорення

У процесі дослідження встановлено залежність умісту фотосинтетичних пігментів у листках сочевиці харчової від моноінокуляції Ризобіфітом та штамми *R. leg*, сумісного їх застосування з протруйником Максим та фази росту і розвитку рослин. Хлорофіли *a* та *b*, які містяться в хлоропластах клітин вищих рослин, забезпечують виконання основної функції у світловій фазі фотосинтезу. Хлорофіл *a* – ключовий пігмент, оскільки слугує реакційним центром фотосистем I і II (Сиваш та ін., 2018).

Установлено, що у фазі бутонізації – початку цвітіння найвище значення показника умісту хлорофілу *a* в листках сочевиці виявлено за передпосівного оброблення насіння *R. leg* штам 724, приріст становив 18,6% порівняно з контролем (табл. 1). Варто зазначити, що інокуляція штамом *R. leg* 724 сприяла також статистично вірогідному накопиченню в мезофілі листків і хлорофілу *b* – на 23,7% більше показника неінокульованих рослин. Достовірне підвищення хлорофілів *a* і *b* у листках сочевиці виявлено в разі оброблення насіння перед сівбою

Ризобіфітом, *R. leg* штамів С4-30, 724 та Ф 11-2 на 4,5 і 7,4%, 10,5 і 15,4%, 6,8 і 5,5% та 6,8 і 5,5% порівняно з контролем.

У дослідних варіантах із використанням фунгіциду Максим приріст показників умісту хлорофілу *a* в листках сочевиці становив 5,3%, хлорофілу *b* – 6,0% порівняно з контролем. Інокуляція штамми *R. leg* сумісно з досліджуваним протруйником також суттєво впливала на накопичення зелених пігментів, порівнюючи з контролем. Виявлено вірогідне збільшення хлорофілу *b* у мезофілі листків на 10,8–21,4%.

Інокуляція насіння МБП та оброблення фунгіцидом перед сівбою сприяли накопиченню фотосинтетичних пігментів і у фазу цвітіння рослин сочевиці харчової. Суттєве підвищення показників умісту хлорофілів *a* та *b* в листках *L. culinaris* виявлено за впливу *R. leg* штам 724 – на 15,8% і 17,8% відповідно (табл. 1) відносно контролю. Крім того, статистично вірогідні дані щодо умісту зелених пігментів у листках рослин виявлено за використання штам *R. leg* С4-30: 8,2 і 11,9%, порівнюючи з контрольними значеннями параметрів.

Інокуляція насіння штамми *R. leg* 724, *R. leg* Ф 11-2 та *R. leg* Ф 16-1 сумісно із протруйником статистично вірогідно сприяла накопиченню хлорофілів та каротиноїдів у листках сочевиці порівняно з контролем (рис. 1). За сумісного застосування *R. leg* зазначених вище штамів і протруйника Максим вміст хлорофілів *a* та *b* підвищився на 14,9, 11,9 і 9,7% та 6,6, 12,9 і 7,9% відповідно, порівнюючи з аналогічними показниками варіанту Максим.

У наступних фазах онтогенезу виявлено аналогічну закономірність стосовно накопичення пластидних пігментів у листках сочевиці харчової за моноінокуляції МБП та сумісного застосування їх з протруйником Максим. Зокрема, у фазі зеленого бобу найвищий уміст хлорофілів *a* та *b* визначено за використання *R. leg* штам Ф 11-2, що на 42,0 і 15,0% більше (табл. 1), ніж у контролі. Ризобіфіт та *R. leg* штамів С4-30 і 724 статистично вірогідно підвищували вміст хлорофілів *a*, *b* і каротиноїдів у листках сочевиці. За впливу МБП на фоні застосування протруйника Максим кількість хлорофілу *a* зростає на 24,9–33,1% відносно неінокульованих рослин. Інтродуковані бульбочкові бактерії сформували ефективний симбіоз із сочевицею харчовою (Козак та ін., 2025), що, відповідно, поліпшило азотне живлення рослин і сприяло інтенсифікації синтезу

Таблиця 1

Вплив МБП на накопичення пігментів (мг/г сирої маси) у листках сочевиці харчової сорту Red, M±m, n=4

Варіант	Хлорофіл а	Хлорофіл b	Хлорофіли (a+b)
Фаза бутонізації – початок цвітіння			
1. Контроль	1,59±0,016	0,43±0,002	2,03±0,017
2. Ризобіфіт	1,67±0,011*	0,47±0,003*	2,13±0,013*
3. R. leg C4-30	1,76±0,016*	0,50±0,006*	2,26±0,022*
4. R. leg 724	1,89±0,008*	0,54±0,008*	2,43±0,015*
5. R. leg Ф 11-2	1,70±0,023*	0,46±0,006*	2,16±0,029*
6. R. leg Ф 16-1	1,47±0,016	0,43±0,004	1,90±0,020
7. Максим	1,68±0,014*	0,46±0,004*	2,14±0,017*
8. Максим+ Ризобіфіт	1,82±0,007*	0,51±0,002*	2,33±0,009*
9. Максим+ R. leg C4-30	1,74±0,020*	0,49±0,009*	2,24±0,028*
10. Максим+ R. leg 724	1,34±0,004	0,48±0,006*	1,82±0,008
11. Максим+ R. leg Ф 11-2	1,54±0,003	0,49±0,005*	2,03±0,002
12. Максим+ R. leg Ф 16-1	1,58±0,008	0,53±0,004*	2,11±0,005*
Фаза цвітіння			
1. Контроль	1,40±0,002	0,43±0,001	1,83±0,001
2. Ризобіфіт	1,39±0,022	0,44±0,007	1,83±0,029
3. R. leg C4-30	1,52±0,013*	0,48±0,002*	1,99±0,011*
4. R. leg 724	1,63±0,027*	0,50±0,003*	2,12±0,002*
5. R. leg Ф 11-2	1,23±0,002	0,36±0,000	1,58±0,002
6. R. leg Ф 16-1	1,48±0,012*	0,44±0,006	1,91±0,017*
7. Максим	1,41±0,007	0,42±0,003	1,82±0,010
8. Максим+ Ризобіфіт	1,38±0,008	0,39±0,003	1,77±0,010
9. Максим+ R. leg C4-30	1,29±0,010	0,36±0,003	1,65±0,013
10. Максим+ R. leg 724	1,62±0,001*	0,44±0,006*	2,07±0,033*
11. Максим+ R. leg Ф 11-2	1,58±0,019*	0,47±0,009*	2,05±0,027*
12. Максим+ R. leg Ф 16-1	1,54±0,004*	0,45±0,003*	1,99±0,004*
Фаза зеленого бобу			
1. Контроль	1,08±0,007	0,36±0,004	1,44±0,010
2. Ризобіфіт	1,31±0,013*	0,400±0,002*	1,71±0,014*
3. R. leg C4-30	1,23±0,003*	0,37±0,004	1,60±0,006*
4. R. leg 724	1,26±0,010*	0,39±0,004*	1,64±0,013*
5. R. leg Ф 11-2	1,46±0,007*	0,42±0,001*	1,87±0,008*
6. R. leg Ф 16-1	1,13±0,019	0,33±0,002	1,46±0,020
7. Максим	1,13±0,020	0,31±0,006	1,44±0,026
8. Максим+ Ризобіфіт	1,35±0,019*	0,36±0,007	1,71±0,026*
9. Максим+ R. leg C4-30	1,44±0,020*	0,36±0,010	1,80±0,030*
10. Максим+ R. leg 724	1,37±0,014*	0,37±0,003	1,73±0,015*
11. Максим+ R. leg Ф 11-2	0,93±0,039	0,27±0,008	1,20±0,046
12. Максим+ R. leg Ф 16-1	1,37±0,005*	0,36±0,002	1,73±0,007*
Фаза стиглого бобу			
1. Контроль	0,60±0,012	0,21±0,012	0,81±0,019
2. Ризобіфіт	0,57±0,011	0,25±0,007*	0,81±0,018
3. R. leg C4-30	0,67±0,020*	0,23±0,010	0,90±0,028*
4. R. leg 724	0,71±0,010*	0,23±0,005	0,95±0,009*
5. R. leg Ф 11-2	0,74±0,005*	0,30±0,001*	1,04±0,005*
6. R. leg Ф 16-1	0,54±0,020	0,17±0,005	0,71±0,025
7. Максим	0,51±0,008	0,17±0,009	0,68±0,016
8. Максим+ Ризобіфіт	0,46±0,002	0,15±0,003	0,62±0,004
9. Максим+ R. leg C4-30	0,67±0,005*	0,29±0,002*	0,96±0,005*
10. Максим+ R. leg 724	0,74±0,011*	0,30±0,003*	1,05±0,011*
11. Максим+ R. leg Ф 11-2	0,69±0,008*	0,30±0,004*	0,99±0,009*
12. Максим+ R. leg Ф 16-1	0,60±0,005	0,25±0,004*	0,86±0,009*

Примітка *відмінності порівняно з контролем достовірні за $P \leq 0,05$

пластидних пігментів, які у своєму складі містять азот.

Аналізуючи показники, отримані у фазі стиглого бобу, простежуємо зниження вмісту зелених пігментів у листках сочевиці харчової, порівнюючи з попередніми фазами онтогенезу культури. Комплексне застосування Максим+МБП також сприяло зростанню кількості хлорофілів у мезофілі листків, порівнюючи з неінокульованими рослинами. Зокрема, в зазначеній вище фазі максимальне значення вмісту хлорофілів *a* і *b* виявлено за інокуляції насінневого матеріалу *R. leg* 724 на фоні використання протруйника Максим, приріст яких становив 24,0 і 42,1%, порівнюючи із контрольним значенням (табл. 1). Достовірні дані про накопичення хлорофілу *a* визначено за моноінокуляції насіння *R. leg* штамми С4-30, 724 та Ф 11-2, хлорофілу *b* – Ризобофітом.

Сума хлорофілів *a* і *b*, яка, за даними науковців, коливається в межах від 0,3 до 5 мг/г, є важливим показником роботи пігментних систем. Крім того, в літературі зазначено, що найінтенсивніше процес фотосинтезу відбувається в тому випадку, коли співвідношення пігментів у листках становить: хлорофілів *a* – 50%, *b* – 30%, каротиноїдів – 20% (Матвеева і Кваско, 2010). Встановлено, що в онтогенезі листки рослин сочевиці харчової сорту Red характеризувалися найвищими параметрами вмісту хлорофілу *a* і суми хлорофілів *a* і *b* у фазі бутонізації – початок цвітіння, дещо нижчим під час цвітіння рослин. У фазах формування та досягання бобів їх уміст знижувався, що пояснюється поступовим старінням листків рослин. За інокуляції насіння *R. leg* штаму 724 визначено найбільшу суму хлорофілів *a* і *b* у фазах бутонізації – початок цвітіння та цвітіння. Приріст показників порівняно з контролем становив 19,7% і 15,8%. Встановлено високу ефективність комбінації Максим+Ризобофіт на накопичення зелених пігментів у листках у фазу бутонізації – початку цвітіння, приріст показника – 14,9%. Збільшення вмісту зелених пігментів у листках сочевиці за дії мікробних препаратів, очевидно, зумовлювалось поліпшенням азотного живлення рослин унаслідок біологічної фіксації нітрогену симбіотичними азотфіксувальними системами. Комбіноване застосування МБП із протруйником Максим сприяло ще поліпшенню здоров'я рослин, а отже, інтенсифікувало процеси біосинтезу хлорофілів у листках.

Поява в рослин індукованого окиснювального стресу підтверджується й зростанням рівня каротиноїдів, що беруть активну участь в адаптивно-захисних реакціях організму (Веселовська і Коць, 2014). Підвищення вмісту β -каротину сприяє нейтралізації руйнівної дії високоактивного синглетного кисню, який неконтрольовано зростає під впливом хімічних факторів, захищаючи хлорофіл від фотоокислення (Foyer & Shigeoka, 2010). Встановлено зростання показника вмісту каротиноїдів у листках сочевиці харчової за впливу МБП упродовж генеративних фаз розвитку (рис. 1) на 5,1–19,5% (бутонізація – початок цвітіння), 10,1–27,2% (цвітіння), 3,3–26,1% (зелений біб), 14,9–23,7% (стиглий біб). У фазу цвітіння виявлено пік накопичення каротиноїдів у листках рослин сочевиці. Найвище значення вмісту жовтих пігментів у листках рослин у вищезгаданій фазі було відмічено за моновикористання *R. leg* 724 (приріст 27,2%), порівнюючи з контрольним варіантом.

У фазу зеленого бобу виявлено статистично вірогідне підвищення вмісту каротиноїдів у листках рослин на 19,8% (Ризобофіт), 8,9% (*R. leg* С4-30), 22,6% (*R. leg* 724), 3,3% (*R. leg* Ф 16-1), порівнюючи з неінокульованими рослинами.

У літературі наявні дані, що показник співвідношення хлорофілів *a* та *b* може корелювати з ростовими процесами рослин на ранніх фазах їх росту та розвитку, впливаючи на потенціал урожайності. В оптимально працюючому фотосинтетичному апараті співвідношення хлорофілів *a/b* становить 2,5–3,0 (Матвеева і Кваско, 2010), зміни можуть свідчити про порушення стехіометрії між комплексами реакційних центрів фотосистем та світлозбиральних комплексів (Біологічні ..., 2012). Достовірні дані щодо показника співвідношення пігментів *a/b*, який збільшується за сприятливих умов зростання, в листках рослин у фазі цвітіння виявлено за використання штамів *R. leg* Ф 11-2 та *R. leg* Ф 16-1 – 5,5 і 3,9%, порівнюючи з контролем. Найвище значення показника співвідношення хлорофілів *a/b* виявлено у фазу зеленого бобу (рис. 2) за сумісного застосування МПБ *R. leg* С4-30 та протруйника Максим – на 35,7% більше, порівнюючи зі значенням контрольного варіанту. Моноінокуляція насіння Ризобофітом та *R. leg* статистично вірогідно підвищувала значення показників цієї фази на 8,9–17,2% відносно контрольного варіанту, на фоні застосування протруйника – на 14,0–35,7%.

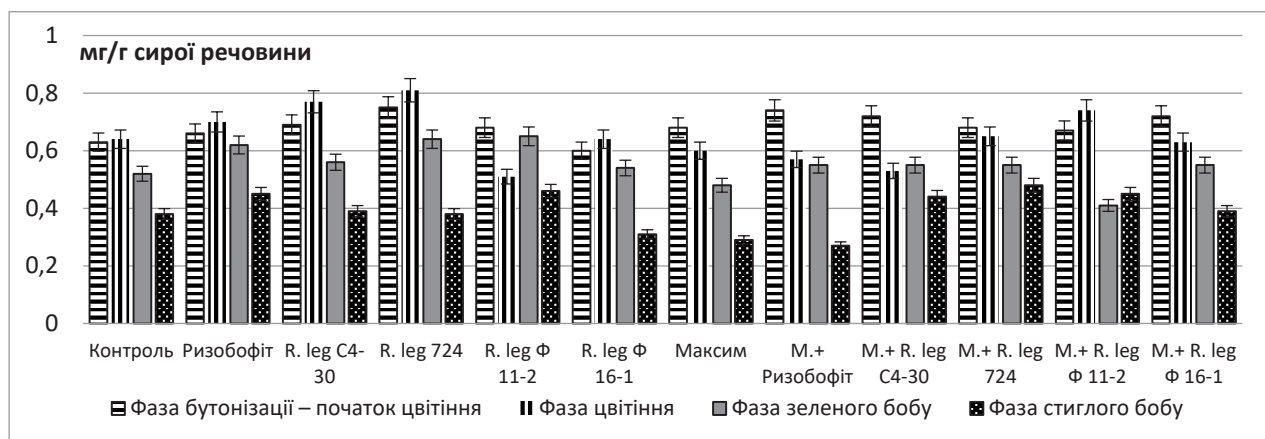


Рис. 1. Вплив МБП та протруйника Максим на накопичення каротиноїдів у листках сочевиці харчової сорту Red, $M \pm m$

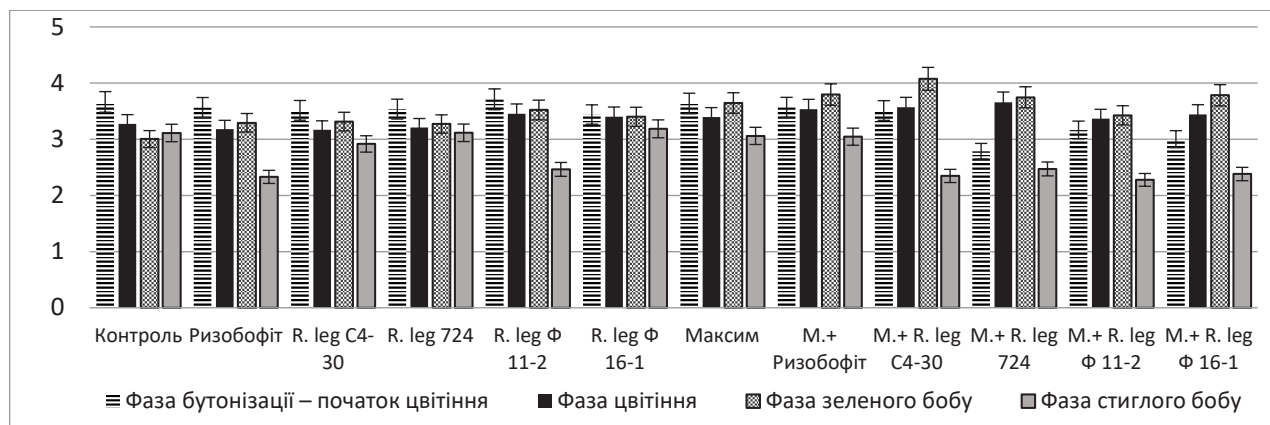


Рис. 2. Вплив МБП та протруйника Максим на співвідношення пігментів хлорофілів a і b у листках сочевиці харчової сорту Red, $M \pm m$

Висновки

Отже, накопичення фотосинтетичних пігментів у листках сочевиці харчової сорту Red в разі вирощування в ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу України залежить від інокуляції насіння мікробними препаратами, сумісного їх застосування з протруйником Максим та фенологічної фази росту і розвитку рослин. Монооброблення насіння перед сівбою мікробними препаратами та сумісно з протруйником Максим у технології вирощування сочевиці харчової суттєво впливали на накопичення у листках хлорофілу a впродовж генеративних фаз розвитку рослин.

Моноінокуляція насіння сочевиці харчової *R. leg C4-30* та *R. leg 724* статистично вірогідно впродовж генеративних фаз розвитку рослин підвищувала вміст хлорофілів у мезофілі листків. Застосування в технології вирощування *Rizobofit*у та *R. leg Ф 11-2* суттєво

впливало на накопичення хлорофілів у фазах бутонізації – початок цвітіння та зеленого бобу, *R. leg Ф 11-2* – ще й стиглого бобу. За оброблення насіння сочевиці харчової перед сівбою протруйником Максим визначено статистично вірогідне збільшення кількості хлорофілів лише у фазі бутонізації – початок цвітіння. За сумісного використання МБП із протруйником виявлено підвищення вмісту хлорофілів у фазах бутонізації – початок цвітіння (варіанти *Rizobofit* та *R. leg C4-30*), цвітіння та стиглого бобу (варіанти *R. leg 724*, *R. leg Ф 11-2*, *R. leg Ф 16-1*).

Найвищим умістом хлорофілів характеризувалися листки сочевиці харчової у фазі бутонізації – початок цвітіння, основних каротиноїдів – під час цвітіння рослин. У наступних фенологічних фазах уміст хлорофілів у листках знижується.

Оброблення насіння перед сівбою мікробними препаратами на основі буль-

бочкових бактерій сочевиці та сумісно з протруйником Максим суттєво впливає на фізіологічні процеси в онтогенезі рослин. Комплексне застосування в технології вирощування сочевиці харчової сорту Red Ризобофіту, активних штамів *R. leg* та протруйників дозволить інтенсифікувати

фотосинтетичні процеси шляхом поліпшення азотного живлення рослин унаслідок біологічної фіксації нітрогену азотфіксувальними системами, реалізувати потенціал захисних властивостей від грибкових захворювань і, як наслідок, підвищити урожайність культури.

Список використаної літератури

- Біологічні основи інтегрованої дії гербіцидів і регуляторів росту рослин / В.П. Карпенко та ін. ; за ред. В.П. Карпенка. Умань : Видавець «Сочінський», 2012. 357 с.
- Веселовська А.І., Коць С.Я. Вплив різних способів застосування лектину на симбіотичні системи соя – *Bradyrhizobium japonicum*, сформовані в умовах оптимального та недостатнього водозабезпечення. *Фізіологія рослин і генетика*. 2014. Т. 46. № 5. С. 437–448.
- Гуляєв Б.І. Екофізіологія фотосинтезу: досягнення, стан та перспективи досліджень. *Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліття* : зб. наук. праць. Київ, 2001. Т. 1. С. 60–74.
- Калитка В.В., Капінос М.В. Вплив регуляторів росту і активних штамів ризобій на пігментний комплекс та продуктивність гороху посівного (*Pisum sativum* L.). *Вісник ХНАУ*. 2015. Вип. 2. С. 8–18.
- Карпенко В.П., Коробко О.О. Вплив гербіциду і біологічних препаратів на фотосинтетичну продуктивність і врожайність нуту. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2018. Вип. 4. С. 48–54.
- Квітко Г.П., Сауляк О.М. Формування урожаю насіння сочевиці харчової в умовах Лісостепу Правобережного. *Органічне виробництво і продовольча безпека* : зб. матеріалів доп. учасн. III Міжнар. наук.-практ. конф. Житомир : Полісся, 2015. С. 564–568.
- Козак В.О., Пида С.В., Мацюк О.Б., Москалюк Н.В., Герц Н.В. Симбіотична активність сочевиці харчової (*Lens culinaris* Medik.) за впливу мікробних препаратів та фунгіцидів. *XVI з'їзд Товариства мікробіологів України ім. С.М. Виноградського* : збірник тез доповідей (Тернопіль, 2–6 червня 2025 р.). Київ, 2025. С. 38.
- Матвєєва Н.А., Кваско О.Ю. Вміст фотосинтетичних пігментів в трансгенних рослинах цукорію з геном туберкульозного антигена Esat6. *Вісник Донецького національного університету*. 2010. № 2. С. 249–253.
- Сиваш О.О., Михайленко М.Ф., Золотарьова О.К. Варіація співвідношення вмісту хлорофілів а і b при адаптації рослин до зовнішніх чинників. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія біологія*. 2018. Т. 3. № 45. С. 49–73.
- Сухова Г.І. Фотосинтетична діяльність сортів сочевиці в умовах Східного Лісостепу України. *Вісник ХНАУ. Серія : Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво*. 2012. № 2. С. 150–155.
- Чернік І.В., Пида С.В., Тригуба О.В., Мацюк О.Б. Вплив бактеріальних препаратів на накопичення фотосинтетичних пігментів у листках *Cicer arietinum* L. *Слобожанський науковий вісник. Серія: Природничі науки*. 2024. № 2. С. 36–41.
- Ashraf M. Thermotolerance in Plants: Potential Physio-Biochemical and Molecular Markers for Crop Improvement. *Environmental and Experimental Botany*. 2021. Vol. 186. P. 104454. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104454>.
- Benmeziane-Derradji F., Djermoune-Arkoub L., Ayat N.E.H., Aoufi D. Impact of roasting on the physicochemical, functional properties, antioxidant content and microstructure changes of Algerian lentil (*Lens culinaris*) flour. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2020. Is. 14. No 5. P. 2840–2853.
- Dhull S.B., Kinabo J., Uebersax M.A. Nutrient profile and effect of processing methods on the composition and functional properties of lentils (*Lens culinaris* Medik): A review. *Legume Science*. 2022. P. 156.
- Foyer C.H., Shigeoka S. Understanding Oxidative Stress and Antioxidant Functions to Enhance Photosynthesis. *Plant Physiology*. 2010. Vol. 155. №1. P. 93–100. <https://doi.org/10.1104/pp.110.166181>.
- Gorai P.S., Ghos, R., Mandal S., Ghosh S., Chatterjee S., Gond S.K., Mandal N.C. Bacillus siamensis CNE6- a multifaceted plant growth promoting endophyte of *Cicer arietinum* L. having broad spectrum antifungal activities and host colonizing potential. *Microbiological Research*. 2021. Vol. 252. P. 126859. URL: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126859>.

Guo F., Peng L., Xiong H., Tsao R., Zhang H., Jiang L., Sun, Y. Bioaccessibility and transport of lentil hull polyphenols in vitro, and their bioavailability and metabolism in rats. *Food Research International*. 2023. Vol. 167. P. 112634. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2023.112634>.

Kaale L.D., Siddiq M., Hooper S. Lentil (*Lens culinaris* Medik) as nutrient-rich and versatile food legume: A review. *Legume Science*. 2023. Is. 5. No 2. P. 169.

Li M., Cheng S., Wang Y., Dong Y. Improving fruit coloration, quality attributes, and phenolics content in rainier and bing cherries by gibberellic acid combined with homobrassinolide. *J. of plant growth regulation*. 2019. No. 11. P. 25–28.

Meland M., Froynes O., Kaiser C. High tunnel production systems improve yields and fruit size of sweet cherry. *Acta Horticulturae*. 2017. Is. 1161. P. 117–124. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1161.20>.

Parihar P., Singh P., Patidar J. K. Chapter 13 – Biostimulants for improving nutritional quality in legumes. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. 2022. P. 261–275. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85579-2.00011-3>.

Sehgal A., Sita K., Kumar J., Kumar S., Singh S., Siddique K.H.M., Nayyar H. Effects of Drought, Heat and Their Interaction on the Growth, Yield and Photosynthetic Function of Lentil (*Lens culinaris* Medikus) Genotypes Varying in Heat and Drought Sensitivity. *Frontiers in plant science*. 2017. Vol. 8. P. 1776.

Shrestha S., Van't Hag L., Haritos V.S., Dhital S. Lentil and Mungbean protein isolates: processing, functional properties, and potential food applications. *Food Hydrocoll*. 2023. P. 135.

Wellburn A. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *J. Plant. Physiol*. 1994. Is. 144. No 3. P. 307–313.

References

Biologhichni osnovy integhrovanoji diji gherbicydiv i reghuljatoriv rostu roslyn [Biological basis of integrated action of herbicides and plant growth regulators]. (2012). V. P. Karpenko ta in. ; za red. V. P. Karpenka. Uman : Vydavcuj «Sochinsjkyj», 357 p. [in Ukrainian].

Veselovsijka, L.I., & Kocj, S.Ja. (2014). Vplyv riznykh sposobiv zastosuvannja lektynu na symbiotychni systemy soja – Bradyrhizobium japonicum, sformovani v umovakh optimalnogho ta nedostatnjogho vodozabezpechennja [The effect of different methods of lectin application on soybean-Bradyrhizobium japonicum symbiotic systems formed under conditions of optimal and insufficient water supply]. *Fiziologhija roslyn i ghenetyka [Plant physiology and genetics]*, 46 (5), 437–448. [in Ukrainian].

Ghuljajev, B.I. (2001). Ekofiziologhija fotosyntezy: dosjaghnennja, stan ta perspektyvy doslidzhenj [Ecophysiology of photosynthesis: achievements, status and prospects of research]. *Fiziologhija roslyn v Ukrajinі na mezhi tysjacholittja [Plant physiology in Ukraine at the turn of the millennium]*: zb. nauk. pracj. K., 1, 60–74 [in Ukrainian].

Kalytka, V.V., & Kapinos, M.V. (2015). Vplyv reghuljatoriv rostu i aktyvnykh shtamiv ryzobij na pighmentnyj kompleks ta produktyvnistj ghorokhu posivnogho (*Pisum sativum* L.) [Influence of growth regulators and active rhizobia strains on the pigment complex and productivity of pea (*Pisum sativum* L.)]. *Visnyk KhNAU [Bulletin of KhNAU]*, 2, 8–18. [in Ukrainian].

Karpenko, V.P., & Korobko, O.O. (2018). Vplyv gherbicydu i biologhichnykh preparativ na fotosyntetychnu produktyvnistj i vrozhajnistj nutu [Effect of herbicide and biological preparations on photosynthetic productivity and yield of chickpea]. *Visnyk aghrarnoji nauky Prychornomor'ja [Bulletin of Agricultural Science of the Black Sea Region]*, 4, 48–54. [in Ukrainian].

Kvitko, Gh.P., & Sauljak, O.M. (2015). Formuvannja urozhaju nasinnja sohevyci kharchovoji v umovakh Lisostepu Pravoberezhnogho [Formation of the harvest of food lentil seeds in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe]. *Orghanichne vyrobnyctvo i prodovoljcha bezpeka [Organic production and food security]*: zb. materialiv dop. uchasn. III Mizhnar. nauk.-prakt. konf. Zhytomyr: Polissja, 564–568. [in Ukrainian].

Kozak, V.O., Pyda, S.V., Macjuk, O.B., Moskaljuk N.V. & Gherc N.V. (2025). Symbiotychna aktyvnistj sohevyci kharchovoji (*Lens culinaris* Medik.) za vplyvu mikrobynykh preparativ ta funghicydiv [Symbiotic activity of edible lentils (*Lens culinaris* Medik.) under the influence of microbial preparations and fungicides]. *XVI zjzjd Tovarystva mikrobiologhiv Ukrajinij im. S.M. Vynogradskogho [XVI Congress of the S.M. Vinogradsky Society of Microbiologists of Ukraine]*: zbirnyk tez dopovidej (Ternopil, 2-6 chervnja 2025 r.). Kyiv, 38 [in Ukrainian].

Matvejeva, N.A., & Kvasko, O.Ju. (2010). Vmist fotosyntetychnykh pighmentiv v transghennykh roslynakh cykoriju z ghenom tuberkuljoznogho antyghena Esat6 [The content of photosynthetic pigments in transgenic chicory plants with the gene of tuberculosis antigen Esat6]. *Visnyk Doneckjogho nacionaljnogho universytetu [Bulletin of Donetsk National University]*, 2, 249–253 [in Ukrainian].

Syvash, O.O., Mykhajlenko, M.F., & Zolotarjova, O.K. (2018). Variacija spivvidnoshennja vmistu khlorofiliv a i b pry adaptaciji roslin do zovnishnykh chynnykiv [Variation of the ratio of chlorophylls a and b content during plant adaptation to external factors]. *Visnyk Kharkivskjogho nacionaljnogho aghrarnogho universytetu. Serija biologhija [Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series Biology]*, 3(45), 49–73 [in Ukrainian].

Sukhova, Gh.I. (2012). Fotosyntetychna dijalnistj sortiv sochevyci v umovakh Skhidnogho Lisostepu Ukrajinu [Photosynthetic activity of lentil varieties in the conditions of the Eastern Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk KhNAU. Serija: Roslynnnyctvo, selekcija i nasinnyctvo, plodoovochivnyctvo [Bulletin of KhNAU. Series: Plant growing, breeding and seed production, fruit and vegetable growing]*, 2, 150–155 [in Ukrainian].

Chernik, I.V., Pyda, S.V., Tryghuba, O.V., & Macjuk, O.B. (2024). Vplyv bakterialnykh preparativ na nakopychennja fotosyntetychnykh pighmentiv u lystkakh *Cicer arietinum* L. [The effect of bacterial preparations on the accumulation of photosynthetic pigments in the leaves of *Cicer arietinum* L.]. *Slobozhanskyj naukovyj visnyk. Serija: Pryrodnychi nauky [Slobozhanskyi naukovyi vestnik. Series: Natural Sciences]*, 2, 36–41 [in Ukrainian].

Ashraf, M. (2021). Thermotolerance in Plants: Potential Physio-Biochemical and Molecular Markers for Crop Improvement. *Environmental and Experimental Botany*, 186, 104454. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104454> [in English].

Benmeziane-Derradji, F., Djermoune-Arkoub, L., Ayat, N.E.H., & Aoufi, D. (2020). Impact of roasting on the physicochemical, functional properties, antioxidant content and microstructure changes of Algerian lentil (*Lens culinaris*) flour. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14 (5), 2840–2853 [in English].

Dhull, S.B., Kinabo, J., & Uebersax, M.A. (2022). Nutrient profile and effect of processing methods on the composition and functional properties of lentils (*Lens culinaris* Medik): A review. *Legume Science*, 156 [in English].

Foyer, C.H., & Shigeoka, S. (2010). Understanding Oxidative Stress and Antioxidant Functions to Enhance Photosynthesis. *Plant Physiology*, 155 (1), 93–100. <https://doi.org/10.1104/pp.110.166181> [in English].

Gorai, P.S., Ghosh, R., Mandal, S., Ghosh, S., Chatterjee, S., Gond, S.K., & Mandal, N.C. (2021). *Bacillus siamensis* CNE6-a multifaceted plant growth promoting endophyte of *Cicer arietinum* L. having broad spectrum antifungal activities and host colonizing potential. *Microbiological Research*, 252, 126859. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126859> [in English].

Guo, F., Peng, L., Xiong, H., Tsao, R., Zhang, H., Jiang, L., & Sun, Y. (2023). Bioaccessibility and transport of lentil hull polyphenols in vitro, and their bioavailability and metabolism in rats. *Food Research International*, 167, 112634. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2023.112634> [in English].

Kaale, L.D., Siddiq, M., & Hooper, S. (2023). Lentil (*Lens culinaris* Medik) as nutrient-rich and versatile food legume: A review. *Legume Science*, 5 (2), 169 [in English].

Li, M., Cheng, S., Wang, Y., & Dong, Y. (2019). Improving fruit coloration, quality attributes, and phenolics content in rainier and bing cherries by gibberellic acid combined with homobrassinolide. *J. of plant growth regulation*, 11, 25–28 [in English].

Meland, M., Froynes, O., & Kaiser, C. (2017). High tunnel production systems improve yields and fruit size of sweet cherry. *Acta Horticulturae*, 1161, 117–124. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1161.20> [in English].

Parihar, P., Singh, P., & Patidar, J.K. (2022). Chapter 13 – Biostimulants for improving nutritional quality in legumes. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*, 261–275. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85579-2.00011-3> [in English].

Sehgal, A., Sita, K., Kumar, J., Kumar, S., Singh, S., Siddique, K.H.M., & Nayyar, H. (2017). Effects of Drought, Heat and Their Interaction on the Growth, Yield and Photosynthetic Function of Lentil (*Lens culinaris* Medikus) Genotypes Varying in Heat and Drought Sensitivity. *Frontiers in plant science*, 8, 1776 [in English].

Shrestha, S., Van't Hag, L., Haritos, V.S., & Dhital, S. (2023). Lentil and Mungbean protein isolates: processing, functional properties, and potential food applications. *Food Hydrocoll*, 135 [in English].

Wellburn, A. (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total caroteinds, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *J. Plant. Physiol*, 144 (3), 307–313 [in English].

Отримано: 28.07.2025

Прийнято: 29.08.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 234.34.44.55

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.7>

АДАПТАЦІЙНІ МЕХАНІЗМИ ЛІСОВОЇ МУРАХИ *FORMICA RUGA* ДО АБІОТИЧНИХ СТРЕСІВ І ЇХ ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ ЛЮДСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

О. В. Кратко¹, А. М. Головатюк², С. В. Кратко³

Механізми адаптації тварин до абіотичних стресових чинників мають велике значення для розуміння їхнього виживання та функціонування в мінливих екологічних умовах, особливо на фоні антропогенних змін довкілля. Лісова мураха *Formica rufa* є модельним видом для дослідження адаптації комах до температурного, водного та світлового стресів і використовується як біоіндикатор екологічного стану лісових екосистем. Метою роботи було комплексне дослідження адаптаційних реакцій *Formica rufa* на основні абіотичні стреси, оцінювання їхнього значення для сталого розвитку людського середовища. У дослідженні застосовано методи польових спостережень, біоіндикації, морфометрії, фізіолого-біохімічного аналізу, а також експериментального моделювання стресових умов. Було проведено оцінювання поведінкових, морфологічних і фізіологічних змін у комах у відповідь на варіації температури, вологості й освітленості.

Результати свідчать про наявність у *Formica rufa* широкого спектра адаптаційних механізмів, що забезпечують підтримку гомеостазу та життєдіяльності в межах оптимальних екологічних параметрів. Найбільш чутливим чинником виявився водний стрес, що порушує соціальну структуру колонії. Отримані дані розширюють знання про екологічну пластичність виду та підкреслюють його значення як біоіндикатора для моніторингу стану природних і антропогенно трансформованих середовищ. Наукова новизна полягає в комплексному підході до вивчення адаптаційних реакцій *Formica rufa* на три основні абіотичні стреси з використанням експериментальних і польових методів. Практична значущість дослідження полягає в можливості застосування результатів для розроблення систем екологічного моніторингу та планування заходів зі сталого управління природними ресурсами, що позитивно впливає на здоров'я та якість життя людини.

Ключові слова: адаптаційні механізми, абіотичні стреси, *Formica rufa*, біоіндикація, екологічна пластичність, поведінкові реакції, сталий розвиток.

¹ кандидат історичних наук, доцент,
завідувачка кафедри біології, екології та методик їх навчання
(Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка, м. Кременець)
e-mail: kratkoolya@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2708-4684

² кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри біології, екології та методик їх навчання
(Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка, м. Кременець)
e-mail: liudmylam¹@ukr.net
ORCID: 0000-0002-2099-145X

³ здобувач першого бакалаврського рівня вищої освіти
(Державне некомерційне підприємство «Державний університет «Київський авіаційний інститут»», м. Київ)
e-mail: kratkoolya@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2708-4684

ADAPTATION MECHANISMS OF THE FOREST ANT *FORMICA RUF*A TO ABIOTIC STRESSES AND THEIR SIGNIFICANCE FOR HUMAN HEALTH AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE HUMAN ENVIRONMENT

O. V. Kratko, L. M. Holovatyuk, S. V. Kratko

*Adaptation mechanisms of animals to abiotic stressors are important for understanding their survival and functioning in changing environmental conditions, especially against the background of anthropogenic environmental changes. The forest ant *Formica rufa* is a model species for studying the adaptation of insects to temperature, water, and light stresses and is used as a bioindicator of the ecological status of forest ecosystems. The aim of the study was to comprehensively investigate the adaptive responses of *Formica rufa* to the main abiotic stresses and to assess their importance for the sustainable development of the human environment.*

The methods of field observations, bioindication, morphometry, physiological and biochemical analysis, as well as experimental modeling of stress conditions were used in the study. Behavioral, morphological and physiological changes in insects in response to variations in temperature, humidity and light were assessed.

*The results indicate that *Formica rufa* has a wide range of adaptive mechanisms that ensure the maintenance of homeostasis and vital activity within optimal environmental parameters. The most sensitive factor was water stress, which disrupts the social structure of the colony. The data obtained expand knowledge about the ecological plasticity of the species and emphasize its importance as a bioindicator for monitoring the state of natural and anthropogenically transformed environments.*

*The scientific novelty lies in an integrated approach to studying the adaptive responses of *Formica rufa* to three major abiotic stresses using experimental and field methods. The practical significance of the study lies in the possibility of applying the results to the development of environmental monitoring systems and planning of measures for sustainable management of natural resources, which positively affects human health and quality of life.*

Key words: adaptation mechanisms, abiotic stresses, *Formica rufa*, bioindication, ecological plasticity, behavioral responses, sustainable development.

Вступ

У сучасних умовах інтенсивного антропогенного впливу на природне середовище все більшого значення набуває вивчення механізмів адаптації організмів до абіотичних стресових чинників, що визначають життєздатність екосистем і безпосередньо впливають на сталий розвиток людського середовища. Температурні коливання, зміни вологості, порушення світлового режиму, а також хімічне забруднення довкілля створюють серйозні виклики для збереження біорозмаїття та екологічної рівноваги. Спостереженням за мурахами екологі можуть отримувати важливу інформацію про стан довкілля та вчасно виявляти проблеми, пов'язані із забрудненням (Кратко та ін., 2025).

Лісова мураха *Formica rufa* є ключовим компонентом лісових екосистем, виконує важливі екологічні функції та володіє високою чутливістю до змін абіотичних факторів. Завдяки широкому спектру поведінкових, фізіологічних і морфологічних видів адаптації вона здатна виживати в мінливих умовах і виступає надійним біоіндикатором екологічного стану лісів.

Однак не досить вивчені адаптаційні реакції *Formica rufa* на основні абіотичні стреси – температурний, водний і світловий – з урахуванням їхнього впливу на життєдіяльність виду, що обмежує можливості використання цих знань для екологічного моніторингу та розроблення заходів зі збереження природних ресурсів (Кратко і Вербицький, 2024).

Вивчення адаптаційних механізмів *Formica rufa* у контексті абіотичних стресів є актуальним науковим завданням, яке має безпосереднє практичне значення для формування стратегій сталого розвитку людського середовища, оскільки забезпечення екологічної стабільності покращує умови життя і здоров'я населення.

Механізми адаптації комах до абіотичних стресів широко вивчаються сучасними дослідниками. Зокрема, С.О. Лавренко, О.М. Соболев у своїх працях (2022 р.) висвітлюють вплив температурних коливань на фізіологію *Formica rufa*, а С.А. Решновецький, С.О. Терепищій (2003 р.) та О.В. Кратко (2024 р.) у своїх дослідженнях розглядають поведінкові реакції мурах на водний стрес. Вивчення світлових чинників і порушень циркад-

них ритмів було проведено у працях К.К. Фасулаті, К.Я. Кижаєва (2020 р.).

Водночас більшість досліджень фокусуються на окремих чинниках і не розглядають комплексного впливу температурного, водного та світлового стресів в антропогенно змінених умовах. Також замало уваги приділено ролі адаптації *Formica rufa* для сталого розвитку людського середовища й екологічного моніторингу.

Серед чинників, що впливають на життєдіяльність організмів, важливе місце посідають абіотичні стресові фактори – несприятливі умови неживої природи, які можуть порушувати гомеостаз і спричиняти зміни у фізіології та поведінці живих істот. До таких чинників належать температура, вологість, освітленість, кислотність, засолення, тиск, радіація, забруднення довкілля, а також нестача або надлишок поживних речовин. Їхній вплив може бути як гострим (раптовим), так і хронічним (тривалим), що зумовлює необхідність адаптивних реакцій.

Реакція тварин на абіотичний стрес визначається видовими особливостями, рівнем екологічної пластичності, ареалом поширення та витривалістю. Еврибіонти демонструють високу адаптивність завдяки активній регуляції гомеостазу та метаболічній перебудові, тоді як стенобіонти обмежені пасивними формами пристосування, зокрема структурною стійкістю (Malovanu et al., 2021).

У тварин адаптація до абіотичних стресів реалізується через поведінкові (уникнення несприятливих умов шляхом міграцій, сплячки, зміни добової активності) та фізіологічні механізми (терморегуляція, зміна метаболізму, накопичення енергетичних ресурсів). У деяких видів спостерігається акліматизація – поступове формування адаптивних змін у відповідь на тривалий вплив стресових чинників (Кратко та ін., 2023).

Метою дослідження є проведення аналізу механізмів адаптації тварин до абіотичних стресових чинників, зокрема оцінювання впливу різних типів стресів на життєдіяльність організмів, визначення їхніх адаптивних властивостей на прикладі конкретного виду. У процесі написання роботи було розглянуто теоретичні аспекти адаптації тварин, проаналізовано методи оцінювання адаптивних реакцій, а також проведено серію спостережень з метою виявлення поведінкових і фізіологічних відповідей на абіотичні стреси.

Для досягнення мети дослідження були поставлені такі завдання: 1) вивчити та проаналізувати наукові й інтернет-джерела щодо властивостей адаптації тварин до абіотичних стресових чинників; 2) проаналізувати вплив основних абіотичних стресів на поведінку, фізіологію та загальну життєдіяльність досліджуваного виду; 3) вивчити механізми адаптації, зокрема поведінкові реакції, зміни фізіологічного стану й особливості соціальної організації в умовах дії стресових чинників.

Матеріал і методи

Під час дослідження адаптації *Formica rufa* до абіотичних стресових чинників застосовувалися комплексні методи, які дозволили всебічно оцінити реакції виду на змінні умови середовища.

По-перше, для вивчення поведінкових реакцій комах використовувалися етологічні методи. Зокрема, проведено польові спостереження, що включали моніторинг активності колоній, аналіз змін добової активності, пошукової поведінки та рівня агресивності у природних умовах. Додатково, з використанням біотелеметрії та відеоаналізу, за допомогою камер і міток здійснювався моніторинг просторової активності колоній.

По-друге, для вивчення морфологічних видів адаптації проведено морфометричний аналіз, що включав вимірювання розмірів тіла, кінцівок, антен і щелеп у різних каст мурах (робочих, солдатів).

Окрім того, застосовувалися екологічні польові методи, які надали інформацію про адаптивні особливості виду у природному середовищі. Здійснювався моніторинг популяцій *Formica rufa* з оцінюванням чисельності, структури колоній. Біоіндикаційні дослідження дозволили встановити реакції мурашників на забруднення важкими металами, зміни рН ґрунту та присутність пестицидів. Також проводився аналіз мурашників як екосистемних одиниць із визначенням температурного режиму, вологості усередині гнізд і сезонної активності колоній.

Результати

Отримані результати дають змогу комплексно характеризувати механізми адаптації лісової мурахи до абіотичних стресів і застосовувати цей вид як ефективний біоіндикатор стану лісових екосистем.

Комахи, зокрема *Formica rufa*, демонструють широкий спектр адаптивних механізмів, що дозволяють виживати

та функціонувати в умовах мінливого середовища.

Температура є ключовим чинником, що визначає активність лісової мурахи. У межах помірної кліматичної зони *Formica rufa* демонструє сезонну ритміку активності: узимку мурашник впадає у стан спокою, знижуючи метаболічну активність, а в теплі сезони активізується. Лісові мурахи здатні регулювати мікроклімат у мурашнику за допомогою архітектурних особливостей: будуючи купол із хвої, трави та ґрунту, вони забезпечують термоізоляцію та вентиляцію. Колонії активно змінюють положення личинок залежно від температури – переносять їх у глибші або верхні шари гнізда (Ghazoul, 2006).

Хоча *Formica rufa* не є мешканцем аридних зон, зміни вологості середовища суттєво впливають на її життєдіяльність. У відповідь на посуху мурахи закривають входи до мурашника, зменшуючи випаровування. Їхня кутикула має восковий шар, що запобігає втратам води. У разі надлишкової вологи спостерігається поведінкова реакція – евакуація колонії до підвищених ділянок ґрунту, перенесення яєць і лялечок у сухіші частини гнізда (Решновецький і Терепищій, 2023).

Освітленість регулює добову активність лісової мурахи. У денні години, за надмірного освітлення та високої температури активність знижується, що знижує ризик перегріву. Натомість уранці та ввечері фіксується пік активності, коли умови є найбільш сприятливими. Вплив штучного освітлення поблизу антропогенних локацій може порушувати циркадні ритми виду, змінювати орієнтацію під час фуражування та негативно позначатися на пошуку їжі (Vuchori et al., 2018).

Лісові мурахи є чутливими до хімічного забруднення, що робить їх ефективними біоіндикаторами екологічного стану лісових екосистем. У зонах промислового або транспортного забруднення спостерігаються зменшення чисельності колоній, зниження активності, порушення структури гнізд. Накопичення важких металів у тілі робочих особин знижує їхню тривалість життя та зменшує репродуктивну здатність матки. Водночас у деяких регіонах спостерігається формування адаптивних реакцій – підвищення антиоксидантного захисту (Tibcherani et al., 2018).

Formica rufa реалізує адаптацію до стресових факторів через:

– поведінкові механізми: регулювання активності, переміщення колонії, зміну структури гнізда;

– фізіологічні зміни: терморегуляцію, зниження метаболічної активності в несприятливий період;

– морфологічні особливості: щільна кутикула з гідрофобним покриттям захищає від втрат вологи та шкідливих речовин;

– соціальні адаптації: колективну терморегуляцію та взаємодопомогу між особинами колонії.

Адаптації комах до несприятливих чинників довкілля є результатом складних еволюційних процесів, що охоплюють поведінкові, морфологічні, фізіолого-біохімічні та молекулярно-генетичні зміни. Особливо це стосується екологічно чутливих видів, як-от лісова мураха (*Formica rufa*), що широко використовується як модельний об'єкт у біоіндикаційних і екологічних дослідженнях. Для вивчення механізмів адаптації комах застосовують низку сучасних методів (Лавренко та ін., 2022; Melnyk et al., 2023).

Аналіз адаптації проводився з урахуванням екологічної валентності виду та його меж: оптимуму, песимуму та критичних точок.

Щодо температурного режиму, оптимальним для активності *Formica rufa* є діапазон від +18 до +25°C, за якої комахи активно виконують життєво важливі функції – будівництво гнізд, збір корму, догляд за потомством. За температур нижче ніж +10°C спостерігається суттєве зниження активності: мурахи залишаються у гнізді й уповільнюють пересування, що свідчить про зниження метаболічної активності. Високі температури, понад +30°C, призводять до пригнічення активності, перегріву тіла та гнізда, що може спричинити загибель особин. За температур нижче 0°C також спостерігається смертельний вплив. Критичною для виживання є температура понад +35°C, за якої відбувається масова загибель від перегріву (Фасулаті і Кижасєва, 2020).

Залежність активності *Formica rufa* від температури та її зони толерантності показано на рисунку 1.

Графік ілюструє зміну активності *Formica rufa* залежно від температурних показників. Оптимальний діапазон температур для активної життєдіяльності цього виду становить +18 – +25°C, тоді як

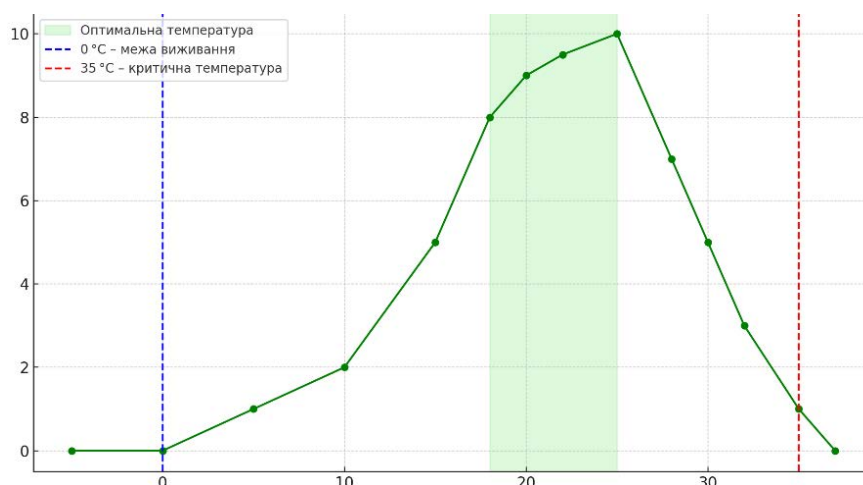


Рис. 1. Залежність активності мурах *Formica rufa* від температури (°C). Активність (умовна шкала)

критичні межі толерантності настають за температур нижче 0°C та вище +35°C.

У таблиці 1, на основі проведеного аналізу та власних спостережень, представлено вплив різних температурних режимів на активність *Formica rufa*, наведено діапазони температур, оцінку рівня активності та характерні особливості поведінки *Formica rufa*.

Аналіз літературних джерел, інтернет-ресурсів і власних спостережень показав, що для *Formica rufa* характерні поведінкові адаптації, як-от глибоке розташування камер у мурашнику, переміщення та вибір затінених ділянок для будівництва гнізд, а також скорочення активності особин у спекотний період. Завдяки цим механізмам лісова мураха демонструє середній рівень толерантності (витривалості) до температурних коливань. Водночас *Formica rufa* належить до стенотермних організмів, що свідчить

про обмежений діапазон її екологічної валентності.

Особливості пристосування до вологості полягають у переважному будівництві гнізд у місцях із помірною вологістю. Оптимальні умови для активної життєдіяльності комах забезпечує вологість ґрунту та повітря в межах 40–70%. За зниження вологості до приблизно 30% спостерігається зниження активності *Formica rufa*, що підвищує ризик зневоднення, тобто в таких умовах активність переходить у зону песимуму. Надлишкова вологість (приблизно 80%) призводить до ризику затоплення гнізд, сприяє розвитку грибкових і бактеріальних інфекцій, що відповідає критичній точці і може спричинити загибель значної частини особин або навіть цілої колонії.

Власні спостереження свідчать, що *Formica rufa* будує гнізда з вентиляційними каналами, які, імовірно, забезпе-

Таблиця 1

Вплив температури на активність *Formica rufa*

Діапазон температур (°C)	Оцінка активності (0–1)	Характеристика
≤0	0	Критична точка: загибель від холоду.
1–9	0,1–0,3	Активність дуже пригнічена, мурахи ховаються у гніздо.
10–17	0,4–0,8	Перехід до активності, спостерігається сповільнення руху.
18–25	1,0	Оптимум: активна діяльність, усі функції виконуються.
26–30	0,7–0,9	Висока активність, можливе поступове зниження.
31–34	0,3–0,6	Перегрівання, зниження активності.
≥35	0	Критична точка: загибель від перегріву.

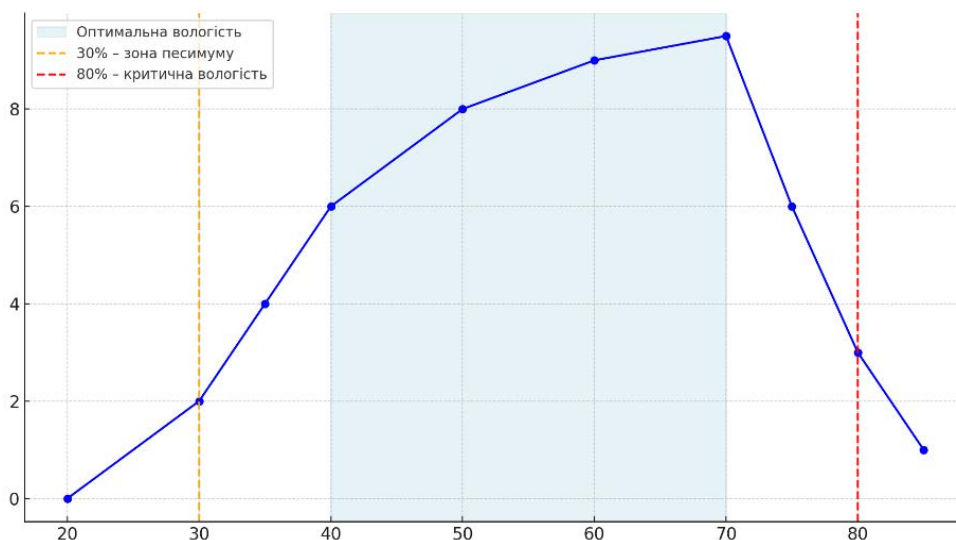


Рис. 2. Залежність активності мурах *Formica rufa* від вологості (%). Активність (умовна шкала)

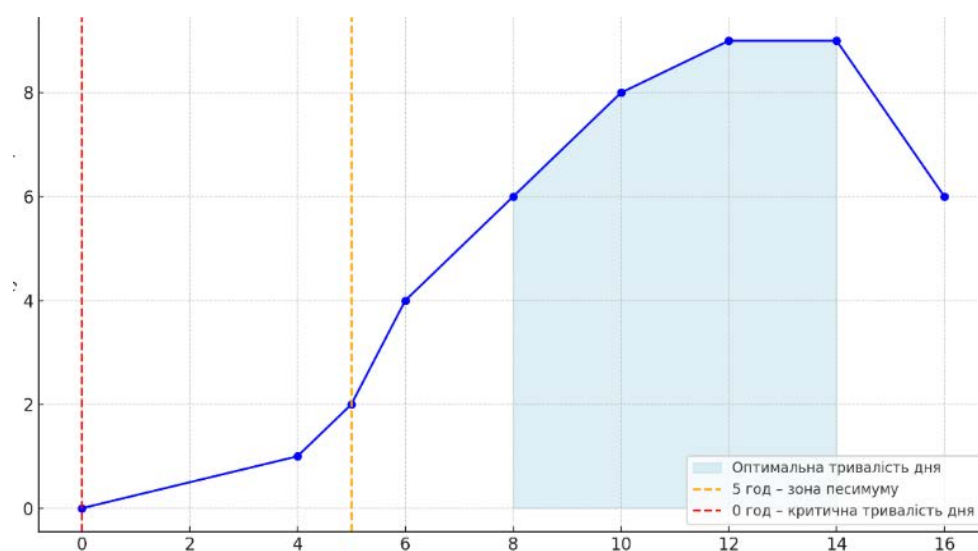


Рис. 3. Залежність активності мурах *Formica rufa* від тривалості світлового дня (години). Активність (умовна шкала)

Таблиця 2

Вплив вологи на активність *Formica rufa*

Відносна вологість (%)	Оцінка активності (0–1)	Характеристика
<30	0–0,4	Песимум: ризик зневоднення, зниження активності.
30–39	0,4–0,7	Перехідна зона, адаптація до помірної нестачі вологи.
40–70	1,0	Оптимум: максимальна активність, сприятливі умови.
71–79	0,6–0,3	Перехід до несприятливих умов, можливе порушення мікроклімату у гнізді.
≥80	↓ до 0	Критична точка: загроза затоплення гнізда, розвиток хвороб, загибель.

чують регуляцію мікроклімату всередині колонії. Це є одним із ключових пристосувань до коливань температури та вологості. Окрім того, колонії часто розташовуються в місцях із природним дренажем, що запобігає застою води.

Залежність активності *Formica rufa* від вологості та зони толерантності наведено на рисунку 2.

У таблиці подано інформацію про вплив вологи на активність *Formica rufa*, наведено діапазон відносної вологості, оцінку активності в межах визначеної вологості й особливості поведінки (табл. 2).

Досліджуваний вид є денним, його активність залежить від тривалості світлового дня. Оптимальна тривалість освітлення для нормальної активності та життєдіяльності становить приблизно 8–14 годин на добу. За умови скорочення світлового дня до 4–5 годин у колоніях спостерігається зниження активності, що особливо помітно у весняно-осінній період. Отже, значне скорочення світлового дня призводить до переходу життєдіяльності *Formica rufa* в умови песимуму. Це свідчить про те, що вид є еврибіонтом за показником вологості, оскільки має широкий діапазон екологічної валентності (толерантності). У разі цілковитої темряви, що триває кілька діб, у мурах втрачається орієнтація, їхні життєві функції припиняються, що відповідає умовам критичної точки.

Залежність активності *Formica rufa* від тривалості світлового дня та зони толерантності наведено на рисунку 3.

Світло-блакитна зона відповідає оптимальній тривалості світлового дня (8–14 годин), у якій активність мурах є найвищою. Пунктирна оранжева лінія (5 годин) позначає зону песимуму, де активність різко знижується. Пунктирна червона лінія (0 годин) відповідає критичній точці, за якої активність цілковито відсутня.

У таблиці наведено інформацію про вплив тривалості світлового дня на активність *Formica rufa*, зокрема тривалість світлового дня, оцінку активності у відповідних межах і особливості поведінки з урахуванням екологічної валентності (толерантності) (табл. 3).

Варто відзначити, що мурахи мають добре розвинену здатність до орієнтації у просторі за допомогою світла – явище, відоме як фототаксис. За відсутності світла (наприклад, у похмуру погоду) комахи орієнтуються за допомогою феромонів і слідових сигналів.

Обговорення

Досліджуваний вид є адаптованим зразком тварин із середнім рівнем екологічної пластичності (толерантності). Найбільш сприятливими умовами для активності *Formica rufa* є температурний діапазон 18–25°C, комфортна помірна вологість та тривалість світлового дня не менш ніж 8 годин. Перевищення критичних меж за будь-яким із проаналізованих факторів призводить до порушення життєдіяльності або навіть загибелі окремих особин чи цілої колонії.

Завдяки численним поведінковим і фізіологічним видам адаптації *Formica rufa* є важливою ланкою екосистем і широко використовується як біоіндикатор в екологічних дослідженнях.

Дослідження проводилися у весняно-осінній період, під час якого спостерігалися різні типи абіотичних стресів, зокрема температурний, водний і світловий стреси. Температурний стрес: спостерігалось підвищення температури до +40°C, що перевищувало оптимальні умови для *Formica rufa*. Вплив підвищеної температури тривав приблизно 48 годин, що спричиняло пригнічення активності, перегрів гнізда та загибель окремих особин. Водний стрес: за умов зменшення

Таблиця 3

Вплив тривалості світлового дня на активність *Formica rufa*

Світловий день (годин/день)	Оцінка активності	Характеристика умов
0–3	0–0,2	Критична точка: дезорієнтація, зупинка функціонування.
4–7	0,3–0,6	Песимум: активність знижена, сезонне уповільнення.
8–14	1,0	Оптимум: максимальна активність, виконання всіх функцій.
>14	1,0–0,8	Допустимі умови: активність висока, можливий перегрів.

Таблиця 4

Результати спостереження за *Formica rufa*

Тип стресу	Основні симптоми/поведінкові реакції	Зміни (%)
Температурний	Зменшення активності, припинення будівельної поведінки, часткове припинення фуражування.	30
Водний	Зменшення внутрішньокolonіальної комунікації, збільшення смертності личинок.	40
Світловий	Порушення циркадних ритмів, некоординована поведінка, втрата орієнтації.	35

Примітка. Значення змін (%) є умовними й оціненими нами на основі інтенсивності прояву поведінкових порушень за нашими власними спостереженнями.

доступу до води на 70% від норми протягом 5 днів відзначено зниження активності мурах, що свідчить про значний вплив на фізіологічний стан колонії. Світловий стрес: моделювання порушення денного світлового режиму здійснювалося шляхом освітлення вночі (за допомогою ліхтарика) та затемнення гнізда вдень темним агроволокном. Це призвело до порушення добової активності й орієнтації комах.

На основі власних спостережень і створення контрольованих умов для аналізу адаптаційних змін у *Formica rufa* було проведено відповідні дослідження (табл. 4).

Висновки

Отже, на основі власних спостережень і експериментальних досліджень було встановлено, що мурахи *Formica rufa* найбільше чутливі до водного стресу, який призводив до значного порушення соціальної структури та функцій колонії. Зокрема, після штучного зволоження мурашника спостерігалось переміщення мурах в іншому напрямку. Температурний стрес мав менш виражений вплив, оскільки колонія швидко адаптувалася до змін температури, змінювала поведінку: більшість особин залишалися у гнізді або працювали в затінених ділянках. Світловий стрес виявився менш критичним, проте спричинив порушення орієнтаційних ритмів у досліджуваних мурах.

У процесі дослідження було комплексно проаналізовано адаптаційні механізми лісової мурахи *Formica rufa* у відповідь

на вплив основних абіотичних стресових чинників – температурного, водного та світлового стресів. Установлено, що *Formica rufa* володіє широким спектром поведінкових, фізіологічних і морфологічних видів адаптації, які забезпечують виживання виду у змінних екологічних умовах, характерних і для антропогенно трансформованих територій.

Оптимальні умови для життєдіяльності виду включають температурний діапазон +18 – +25 °С, відносну вологість 40–70% та тривалість світлового дня 8–14 годин. Перевищення критичних меж цих чинників призводить до значного зниження активності або загибелі окремих особин і колоній. Найбільш чутливим чинником виявився водний стрес, що суттєво порушує соціальну організацію колонії. Температурний і світловий стреси спричиняють адаптивні зміни, що свідчить про середній рівень екологічної пластичності виду.

Завдяки високій адаптивності та чутливості до змін навколишнього середовища *Formica rufa* є ефективним біоіндикатором стану лісових екосистем і, відповідно, стану довкілля, що має безпосередній вплив на здоров'я і якість життя людини. Результати дослідження підкреслюють важливість урахування адаптаційних механізмів цього виду в системах екологічного моніторингу та плануванні заходів зі збереження природних ресурсів, що є складником сталого розвитку людського середовища.

Список використаної літератури

Кратко О.В., Головатюк Л.М., Середюк А.О., Кратко С.В. Біоіндикація стану атмосферного повітря міста Кременця Тернопільської області. *Technologies, innovative and modern theories of scientists: International scientific and practical conference – 2023* : збірник наукових праць. Graz, Austria, 2023. С. 41–45.

Кратко О.В., Вербицький О.Г. Біомоніторинг стану довкілля з використанням рослинних індикаторів. *Механізм старіння в біології (Mechanism of aging in biology) – 2024* : збірник наукових праць. Київ, 2024. С. 174–178.

Кратко О.В., Головатю Л.М., Бондар О.Б. Комахи – біоіндикатори забруднення наземних екосистем. *Український журнал природничих наук*. 2025. № 11. С. 43–49. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.5>.

Лавренко С.О., Соболев О.М., Корбич Н.М. Напрями та перспективи використання комах-запилювачів для біоіндикації стану екосистеми та змін клімату в умовах півдня України. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2022. Вип. 1 (47). С. 80–90.

Решновецький С.Л., Терепищій С.О. Чорні садові мурахи в соснових лісах Боярського лісництва. *Вісник Харківського інституту соціального прогресу*. 2003. Вип. 1 (34). С. 23–26.

Фасулаті К.К., Кижжаєва К.Я. До вивчення фауни і екології мурашок (*Hymenoptera, Formicidae*) Українських Карпат. *Комахи Українських Карпат і Закарпаття*. Київ, 2020. С. 92–99.

Buchori D., Rizali A., Rahayu G., Mansur I. Insect diversity in post-mining areas: Investigating their potential role as bioindicator of reclamation success. *Biodiversitas*. 2018. Vol. 19. P. 1696–1702. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d190515>.

Ghazoul J. Floral diversity and the facilitation of pollination. *Journal of Ecology*. 2006. Vol. 94. P. 295–304. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01098.x>.

Malovanyy M., Korbut M., Davydova I., Tymchuk I. Monitoring of the Influence of Landfills on the Atmospheric Air Using Bioindication Methods on the Example of the Zhytomyr Landfill, Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22. № 6. P. 36–49. <https://doi.org/10.12911/22998993/137446>.

Melnyk Y., Bondar O., Sydorenko S., Tsytsiura N., Tryhuba O., Dukh O., Halahan O., Kratko O. Peculiarities of middle-aged scots pine forests development after surface fires in Kremenchuk green area, Ukraine. *Forestry Ideas*. 2023. Vol. 29. № 2. P. 272–286. URL: <https://orcid.org/0000-0002-3448-8943>.

Tibcherani M.F., Nacagava V.A., Aranda R.A., Mello R.L. Review of Ants (Hymenoptera: Formicidae) as bioindicators in the Brazilian Savanna. *Sociobiology*. 2021. Vol. 65. № 2. P. 112–129. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v65i2.2048>.

References

Kratko, O.V., Holovatyuk, L.M., Seredyuk, A.O., & Kratko, S.V. (2023). Bioindykacija stanu atmosfernogho povitrja mista Kremenja Ternopiljskoji oblasti [Bioindication of the state of atmospheric surface of the town of Kremenja, Ternopil region]. *International scientific and practical conference “Technologies, innovative and modern theories of scientists – 2023” [International scientific and practical conference “Technologies, innovative and modern theories of scientists – 2023”]*. Graz, 41–45 [in Ukrainian].

Kratko, O.V., & Verbytskyi, O.G. (2024). Biomonitoring stanu dovkillja z vykorystannjam roslynnykh indykatoriv [Biomonitoring of the environment using plant indicators]. *Mekhanizm starinnja v biologhiji – 2024 [Mechanism of aging in biology – 2024]*. Kyiv, 174–178 [in Ukrainian].

Kratko, O.V., Holovatiuk, L.M., & Bondar, O.B. (2025) Komakhy – bioindykatory zabrudnennia nazemnykh ekosystem. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnykh nauk: naukovyi zhurnal – 2025*. Kyiv, 43–49 [in Ukrainian].

Lavrenko, S.O., Sobol, O.M., & Korbych, N.M. (2022). Naprjamky ta perspektyvy vykorystannja komakh-zapyljuvachiv dlja bioindykaciji stanu ekosystemy ta zmin klimatu v umovakh pivdnja Ukrainy [Directions and prospects of using pollinating insects for bioindication of ecosystem status and climate change in the south of Ukraine]. *Visnyk Sumsjkogho nacionalnogho aghrarnogho universytetu [Bulletin of Sumy National Agrarian University]*, 1 (47), 80–90 [in Ukrainian].

Reshnovetskyi, S.L., & Terepyschyi, S.O. (2023). Chorni sadovi murakhy v sosnovykh lisakh Bojarsjkogho lisnytva [Black garden ants in the pine forests of the Boyarsky forestry]. *Visnyk Kharkivskogho instytutu socialnogho prohresu [Bulletin of the Kharkiv Institute for Social Progress]*, 1 (34), 23–26 [in Ukrainian].

Fasulati, K.K., & Kizhaeva, K.Y. (2020). Do vyychennja fauny i ekologhiji murashok (Hymenoptera, Formicidae) Ukrajsjkykh Karpat [On the study of the fauna and ecology of ants (Hymenoptera, Formicidae) of the Ukrainian Carpathians]. *Komakhy Ukrajsjkykh Karpat i Zakarpattja [Insects of the Ukrainian Carpathians and Transcarpathia]*. Kyiv, 382–383 [in Ukrainian].

Buchori, D., Rizali, A., Rahayu, G., & Mansur, I. (2018). Insect diversity in post-mining areas: Investigating their potential role as bioindicator of reclamation success. *Biodiversitas* [in English].

Ghazoul, J. (2026). Floral diversity and the facilitation of pollination. *Journal of Ecology*, 94, 295–304 [in English].

Malovanyy, M., Korbut, M., Davydova, I., & Tymchuk, I. (2021). Monitoring of the Influence of Landfills on the Atmospheric Air Using Bioindication Methods on the Example of the Zhytomyr Landfill, Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*, 22 (6), 36–49 [in English].

Melnyk, Y., Bondar, O., Sydorenko, S., Tsytsiura, N., Tryhuba, O., Dukh, O., Halahan, O., & Kratko, O. (2023). Peculiarities of middle-aged scots pine forests development after surface fires in Kremenchuk green area, Ukraine. *Forestry Ideas*, 29 (2) [in English].

Tibcherani, M.F., Nacagava, V.A., Aranda, R.A., & Mello, R.L. (2021). Review of Ants (Hymenoptera: Formicidae) as bioindicators in the Brazilian Savanna. *Sociobiology*, 65 (2), 112–129 [in English].

Отримано: 22.07.2025
Прийнято: 29.08.2025
Опубліковано: 17.10.2025





УДК 577.1:591.5:574.3

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.8>

ЗМІНИ ВМІСТУ НУКЛЕЇНОВИХ КИСЛОТ У ТКАНИНАХ КАРАСЯ ЗВичАЙНОГО (*CARASSIUS CARASSIUS* L.) ЯК ПОТЕНЦІЙНИЙ МАРКЕР БІОІНДИКАЦІЇ ТОКСИЧНОЇ ДІЇ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

Р. Є. Любчиков¹, Д. А. Філоненко²

У статті представлено результати експериментального дослідження впливу токсикантів різної природи на нуклеїновий гомеостаз у тканинах *Carassius carassius*. Вивчено зміни кількісного вмісту РНК, ДНК та співвідношення РНК/ДНК у чотирьох типах тканин (печінка, білі м'язи, мозок, зябра) за умов дії мікотоксину Т2 (2 мг/дм³), афлатоксину В1 (1 мг/дм³), солі свинцю (5 мг/дм³ у перерахунку на іон Pb²⁺), гербіциду Зенкор (3 мг/дм³) та лаурилсульфату натрію (2 мг/дм³). Зразки одержано від дворічних карасів, яких утримували в акваріумних умовах упродовж 14 діб. Кількісний вміст нуклеїнових кислот у тканинах визначали спектрофотометричним методом, реєстрували екстинкції для РНК за 260 і 286 нм, а для ДНК – за 268 і 284 нм. Співвідношення РНК/ДНК розраховували як інтегральний індикатор метаболічної активності.

Результати показали, що вміст ДНК у тканинах залишався стабільним за всіх умов, що свідчить про збереження клітинної маси. Натомість вміст РНК вірогідно знижувався під впливом усіх токсикантів, з максимальним зменшенням у печінці та м'язах за дії мікотоксину Т2 (зниження до 40–50%) та іонів свинцю. У цих тканинах також спостерігалося найсуттєвіше зниження співвідношення РНК/ДНК – на 40% ($p < 0,05$) та 34% ($p < 0,05$) щодо контролю. Водночас у таких менш метаболічно активних тканинах, як мозок і зябра, зафіксовано значуще зниження РНК/ДНК, що свідчить про системний характер стресової реакції. Виявлено, що мікотоксин Т2 й іони Pb²⁺ мають найпотужніший інгібувальний ефект на біосинтетичну активність клітин, тоді як Зенкор і лаурилсульфат спричиняли помірні, але достовірні зміни.

Отже, співвідношення РНК/ДНК продемонструвало високу чутливість до впливу різних типів ксенобіотиків і може бути використане як ефективний біохімічний маркер у системах біоіндикації і моніторингу якості водного середовища.

Ключові слова: нуклеїнові кислоти, РНК/ДНК, риби, токсиканти, метаболізм, печінка, тканини, біоіндикація.

¹ аспірант кафедри екології, географії та природокористування
(Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка, м. Чернігів)
e-mail: mob8791@gmail.com

ORCID: 0009-0007-2267-9463

² аспірант кафедри біології

(Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка, м. Чернігів)

e-mail: FilonenkoD@gmail.com

ORCID: 0009-0007-0631-1669

CHANGES IN THE CONTENT OF NUCLEIC ACIDS IN THE TISSUES OF THE CURB (*CARASSIUS CARASSIUS* L.) AS A POTENTIAL MARKER OF BIOINDICATION OF THE TOXIC EFFECT OF THE AQUATIC ENVIRONMENT

R. Ye. Liubchykov, D. A. Filonenko

*The article presents experimental results on the effects of various toxicants on the nucleic acid homeostasis in *Carassius carassius* tissues. The study assessed the quantitative content of RNA, DNA, and the RNA/DNA ratio in four tissue types (liver, white muscle, brain, and gills) following exposure to mycotoxin T2 (2 mg/dm³), aflatoxin B1 (1 mg/dm³), lead salt (5 mg/dm³ as Pb²⁺ ion), the herbicide Zencor (3 mg/dm³), and sodium lauryl sulfate (2 mg/dm³). Fish were kept under controlled aquarium conditions for 14 days. Nucleic acid content was determined spectrophotometrically by measuring optical densities at 260 and 286 nm for RNA, and 268 and 284 nm for DNA. The RNA/DNA ratio was used as an integrated indicator of metabolic activity.*

The results demonstrated that DNA levels remained stable across all groups, indicating preserved cellular mass. However, RNA levels significantly decreased under all toxicant exposures, particularly under T2 (up to 40–50%) and lead ions. These tissues also showed the most significant decrease in RNA/DNA ratio – by 40% ($p < 0,05$) and 34% ($p < 0,05$) relative to control. Statistically significant declines were also observed in the brain and gills, highlighting the systemic nature of the stress response. Among the tested toxicants, T2 and Pb²⁺ had the most pronounced inhibitory effects on cellular biosynthesis, while Zencor and lauryl sulfate induced moderate but significant changes. Therefore, the RNA/DNA ratio proved to be a sensitive and informative biomarker that reflects early metabolic disturbances in fish tissues under the influence of various chemical stressors. Its pronounced responsiveness to even moderate concentrations of toxicants highlights its diagnostic value for detecting sublethal physiological effects that may not be visible through morphological or conventional biochemical indicators. Due to its integrative nature, the RNA/DNA ratio can be effectively applied as a reliable tool in bioindication systems, supporting early-warning assessments and long-term ecological monitoring of aquatic ecosystems, particularly in environments exposed to anthropogenic pressure.

Key words: nucleic acids, RNA/DNA, fish, toxicants, metabolism, liver, tissues, bioindication.

Вступ

У сучасних умовах екологічної нестабільності й інтенсифікації антропогенного впливу на водні екосистеми особливої актуальності набувають методи біоіндикації. Вони дозволяють оперативно й об'єктивно оцінювати екологічний стан водойм шляхом вивчення реакцій живих організмів на зміну довкілля. Серед біоіндикаторів риbam належить важливе місце завдяки їхній високій чутливості до змін фізико-хімічних параметрів води та до присутності токсикантів різної природи.

Окрему загрозу для гідробіонтів становлять ксенобіотики – речовини, що надходять у водойми внаслідок сільськогосподарської, промислової чи побутової діяльності людини. До них належать як органічні сполуки, зокрема мікотоксини та гербіциди, так і неорганічні контамінанти – солі важких металів і поверхнево-активні речовини. Навіть за невеликих концентрацій такі агенти здатні спричинити сублетальні зміни, які не завжди фіксуються традиційними фізико-хімічними

методами аналізу (Желай та ін., 2023b; Полотнянко і Мекед, 2023a).

У зв'язку із цим великого значення набуває пошук чутливих біомаркерів, здатних реагувати на токсичне навантаження ще до появи клінічних або морфологічних змін. Одним із сучасних напрямів є дослідження кількісного вмісту нуклеїнових кислот у тканинах риб, зокрема співвідношення РНК/ДНК. Цей показник відображає метаболічну активність клітин, оскільки РНК безпосередньо пов'язана з білковим синтезом, а стабільний рівень ДНК характеризує клітинну масу. Зниження співвідношення РНК/ДНК може свідчити про стрес, токсичне пригнічення біосинтетичних процесів або загальне виснаження організму.

У сучасних умовах екологічної нестабільності особливого значення набуває рання діагностика впливу забруднювальних чинників на гідробіонтів. Саме біоіндикація є одним із найбільш ефективних інструментів оцінювання стану водного середовища, що базується на вивченні реакцій живих організмів на зміни

в довкіллі (Грубінко, 2005а; Yatsenko et al., 2017).

Серед усіх гідробіонтів риби часто використовуються як біоіндикатори, оскільки мають високу чутливість до змін у складі води, зокрема до наявності токсикантів різної природи (Мехед, 2013а; Ніколаєнко та ін., 2023). Особливо небезпечними для риб є ксенобіотики, що надходять у водойми із промисловими та сільськогосподарськими стоками. Відомо, що ці сполуки можуть спричиняти сублетальні зміни, які важко зафіксувати традиційними методами (Мусієнко та ін., 2005; Полотнянко і Мехед, 2023b).

На цьому тлі особливу увагу дослідників привертають молекулярно-біохімічні маркери, зокрема кількісний вміст нуклеїнових кислот (ДНК і РНК) у тканинах риб. Співвідношення РНК/ДНК вважається інформативним показником метаболічної активності та загального фізіологічного стану організму, адже РНК безпосередньо пов'язана з білковим синтезом, а ДНК є маркером клітинної маси (Lowry et al., 1951; Polotnianko et al., 2024). Раніше вже було доведено, що мікотоксини (зокрема, Т2 й афлатоксин В1), важкі метали, гербіциди та ПАР можуть впливати на нуклеїновий гомеостаз у тканинах риб, змінювати рівень транскрипції та активність рибосом (Апецько та ін., 2021; Матюшко і Мехед, 2024). Отже, актуальність дослідження зумовлена потребою в чутливих біомаркерах для виявлення сублетальних ефектів токсикантів. Ця робота спрямована на з'ясування змін вмісту нуклеїнових кислот у різних тканинах *Carassius carassius* під впливом токсикантів з метою оцінювання фізіологічного стану організмів і обґрунтування доцільності використання показника РНК/ДНК як біоіндикатора.

Токсин Т2 – один із найбільш токсичних представників трихотеценових мікотоксинів, продукується грибами роду *Fusarium*. Його механізм дії пов'язаний із пригніченням синтезу білків на рівні рибосом, що спричиняє глибокі порушення метаболізму. У риб Т2 токсин спричиняє дегенеративні зміни у тканинах, зменшення вмісту РНК, пригнічення ферментативної активності, імунодефіцит і зміни кровотворення (Желай та ін., 2023а; Мехед, 2024). Навіть у малих дозах він впливає на морфологічні показники та розвиток молоді риб. Афлатоксин В1 – один із най-

сильніших природних гепатотоксинів, синтезується грибами роду *Aspergillus*. У риб діє переважно на печінку, спричиняє некротичні зміни, порушення білкового й енергетичного обміну, накопичення вільних радикалів. Відомий своєю канцерогенністю та мутагенністю, навіть у незначних концентраціях призводить до функціональних порушень організму (Матюшко і Мехед, 2024). Свинець належить до важких металів, а його сполуки здатні кумулюватися у тканинах гідробіонтів, чинячи токсичну дію. Найбільше накопичення відбувається в печінці, нирках, зябрах і мозку. Свинець здатен інгібувати ферменти, заміщати кальцій у клітинах, спричиняти оксидативний стрес, пошкодження ДНК, пригнічення росту й репродукції. Особливо чутливими до свинцю є молоді особини, у яких він спричиняє деформації та затримку розвитку (Грубінко, 2005а; Мехед, 2013а). Зенкор – гербіцид на основі метрибузину, широко застосовується в сільському господарстві. Після потрапляння у водойми спричиняє деструкцію клітинних мембран, порушення фотосинтезу у водоростей, а в риб – ураження зябер, печінки, зниження активності антиоксидантних систем. Хоча Зенкор вважається «помірно токсичним», у разі хронічної дії він здатен спричиняти накопичення токсичних метаболітів і зміну вмісту РНК/ДНК (Апецько та ін., 2021). Натрій лаурилсульфат (далі – ЛСН) – поверхнево-активна речовина, що входить до складу миючих засобів. У водному середовищі діє як детергент, який руйнує ліпідні мембрани клітин. У риб спричиняє ушкодження зябер, зниження дихальної ефективності, а також пригнічення синтезу білків і нуклеїнових кислот. Хоча ЛСН швидко розкладається в середовищі, його короткотривалий вплив може бути критичним для ембріонів і мальків (Мусієнко та ін., 2005).

У контексті вивчення токсичного впливу ксенобіотиків на водні організми все більшу увагу приділяють біохімічним показникам як чутливим маркерам фізіологічного стану гідробіонтів. В.В. Грубінко у своїх працях окреслив концепцію інтегрального оцінювання токсичного ураження в біологічних системах і заклад основи системного підходу до аналізу метаболічних адаптацій у гідробіонтів (Грубінко, 2005b). Подібні біохімічні підходи застосовуються і в дослідженнях,

присвячених діагностиці дії забруднювачів на рибу. Зокрема, А.М. Апецько та співавтори дослідили зміни біохімічних показників у тканинах коропа лускатого під впливом гербіцидів у поєднанні із солями цинку, виявили значне зниження активності ферментів і метаболічних параметрів (Мехед, 2013b; Апецько та ін., 2021). Підтвердженням цього слугують і результати дослідження І.С. Пантюшенко, О.Б. Мехед, О.П. Третьяка, які проаналізували нюанси нуклеїнового гомеостазу в цьогорічки коропа за токсичних умов утримання (Пантюшенко та ін., 2012).

Особливу увагу науковців привернули мікотоксини, які є поширеними природними забруднювачами кормів. Вплив токсину Т2 на іхтіологічні показники, морфологічний стан і вміст аденілатів у тканинах карпових риб було продемонстровано в низці досліджень (Желай та ін., 2023a; Матюшко і Мехед, 2024; Мехед, 2024). Останні дослідження підкреслюють зростання актуальності використання біомаркерів для оцінювання впливу забруднювачів на водні екосистеми. Риби, як важливі компоненти цих систем, часто використовуються для моніторингу стану навколишнього середовища, оскільки вони реагують на зміни у водному середовищі на різних рівнях біологічної організації.

Зокрема, нуклеїнові кислоти (ДНК та РНК) та їх співвідношення все частіше розглядаються як чутливі біомаркери токсичної дії (Gilbey et al., 2021). Зміни у вмісті нуклеїнових кислот можуть вказувати на фізіологічний стрес, порушення синтезу білка та загальні метаболічні зрушення в організмі риб під впливом різноманітних токсикантів (Stat et al., 2019).

Вплив забруднювачів на генетичний апарат водних організмів є ключовим аспектом екоотоксикологічних досліджень. Дослідження показують, що вплив екологічних забруднювачів може призводити до генотоксичних і гістопатологічних змін у риб, що підкреслює важливість цих показників для оцінювання стану здоров'я популяцій (Marques et al., 2021).

Для всебічного оцінювання впливу забруднення водного середовища застосовуються інтегровані мультибіомаркерні підходи. Вони дозволяють отримати повнішу картину реакції організму риб на стресові фактори, ніж використання одного біомаркера (Pawlowski et al., 2021).

Сучасні дослідження надають глибоке розуміння екоотоксикологічних ефектів нових забруднювачів на водні організми, відкривають нові перспективи для біоіндикації (Veilleux et al., 2021).

Інші автори також досліджували морфологічні порушення в риб за дії ксенобіотиків (Мусієнко та ін., 2005) та забруднення водного середовища (Ніколаєнко та ін., 2023). Окремі роботи акцентують на використанні співвідношення РНК/ДНК як показника росту та фізіологічної активності, що добре узгоджується із класичними методами білкового аналізу (Lowry et al., 1951). Окрім того, у низці досліджень підкреслено гігієнічні та токсикологічні аспекти використання гідробіонтів у харчових ланцюгах (Yatsenko et al., 2017).

Отже, літературні джерела підтверджують, що біохімічний аналіз нуклеїнових кислот, зокрема РНК/ДНК, є обґрунтованим, перспективним і універсальним підходом у системах біоіндикації, особливо в умовах забруднення водного середовища різного походження.

Метою досліджень є вивчення особливостей впливу токсикантів на динаміку зміни вмісту нуклеїнових кислот в органах карася звичайного.

Матеріал і методи

Дослідження проводили на двохрічках карася звичайного (*Carassius carassius*) вагою 250–350 г, відібраних із контрольної водойми на території Київської області, 50°56'52.0"N 29°55'47.7"E (штучна водойма без відомих джерел техногенного навантаження). Досліди проводилися в модельних умовах в акваріумах об'ємом 200 дм³, де рибу розміщували з розрахунку 1 екземпляр на 40 дм³ води. В експерименті риби групами по 5 особин були в шести варіантах, як-от: контроль (фізіологічні умови утримання, без додавання токсичних речовин), за дії мікотоксину Т2 (2 мг/дм³), афлатоксину В1 (1 мг/дм³), Зенкору (3 мг/дм³), солі свинцю (5 мг/дм³) у перерахунку на іон і натрій лаурилсульфату (2 мг/дм³). Для аналізу використовували зразки печінки, м'язової тканини, зябер і мозку. Загальна кількість тварин – 30 екземплярів. Риби витримувались в умовах досліду протягом 14 діб. Температура води коливалася в межах +15 – +16°C, вміст розчиненого кисню був у межах фізіологічної норми (5–7 мг/дм³) (Bulbul et al., 2022). Воду змінювали кожні

3 доби. Після закінчення експерименту рибу піддавали евтаназії методом декапітації згідно з етичними принципами поводження із тваринами (World ..., 2001).

Визначення кількості ДНК та РНК здійснювалося спектрофотометричним методом, екстинції визначали для РНК за 260 і 286 нм, для ДНК за 268 і 284 нм. Співвідношення РНК/ДНК розраховувалося з метою оцінювання метаболічної активності організмів, як це описано у праці К.С. Афанасьєвої, М.І. Чопей (Афанасьєва і Чопей, 2024).

Отримані дані оброблялися методами варіаційної статистики з використанням програмного забезпечення "Statistica 10.0". Статистична достовірність відмінностей між контрольною та експериментальними групами визначалася за критерієм Стюдента (t-тест). Результати вважалися достовірними за $p < 0,05$.

Результати та їх обговорення

У процесі експериментального дослідження було визначено кількісний вміст

нуклеїнових кислот (ДНК, РНК) та співвідношення РНК/ДНК у чотирьох типах тканин карася звичайного – мозку, білих м'язах, печінці та зябрах – за умов впливу різних ксенобіотиків: мікотоксину Т2, мікотоксину В1, солі свинцю, гербіциду Зенкор і натрію лаурилсульфату. Результати нашого дослідження наведено в таблиці 1.

Аналіз вмісту нуклеїнових кислот у тканинах *Carassius carassius* в умовах впливу різних токсикантів продемонстрував зміни біохімічних показників залежно від тканини та використаної токсичної речовини. Найбільш стабільним виявився рівень ДНК, що змінювався несуттєво (не більше ніж 10%) незалежно від умов експозиції. Це може свідчити про збереження клітинної структури та відсутність масштабної загибелі клітин.

Натомість рівень РНК знижувався значно, що вказує на пригнічення транскрипційної активності та синтезу білків. Насуттєвіше зменшення цього показника

Таблиця 1
Вміст нуклеїнових кислот і співвідношення РНК/ДНК у тканинах карася залежно від умов утримання, $M \pm m$ (мкг/г)

Умова/показник	Мозок	Білі м'язи	Печінка	Зябра
Контроль				
ДНК	1,40 ± 0,07	1,10 ± 0,05	1,60 ± 0,08	1,30 ± 0,06
РНК	1,10 ± 0,06	0,75 ± 0,04	1,60 ± 0,10	1,45 ± 0,07
РНК/ДНК	0,79 ± 0,04	0,68 ± 0,03	1,00 ± 0,05	1,12 ± 0,06
Мікотоксин Т2, 2 мг/дм ³				
ДНК	1,30 ± 0,08	1,00 ± 0,06	1,50 ± 0,09	1,20 ± 0,07
РНК	0,80 ± 0,05*	0,45 ± 0,03*	0,90 ± 0,06*	0,75 ± 0,04*
РНК/ДНК	0,62 ± 0,03*	0,45 ± 0,02*	0,60 ± 0,04*	0,63 ± 0,03*
Мікотоксин В1, 1 мг/дм ³				
ДНК	1,35 ± 0,07	1,05 ± 0,05	1,55 ± 0,08	1,25 ± 0,06
РНК	0,90 ± 0,06*	0,55 ± 0,04 *	1,10 ± 0,07*	1,05 ± 0,05
РНК/ДНК	0,67 ± 0,04*	0,52 ± 0,03 *	0,71 ± 0,04*	0,84 ± 0,04*
Іони свинцю, 5 мг/дм ³				
ДНК	1,30 ± 0,08	1,00 ± 0,06	1,50 ± 0,10	1,20 ± 0,07
РНК	0,75 ± 0,05*	0,50 ± 0,03*	0,85 ± 0,06*	0,70 ± 0,04*
РНК/ДНК	0,58 ± 0,03*	0,50 ± 0,02*	0,57 ± 0,04*	0,58 ± 0,03*
Зенкор, 3 мг/дм ³				
ДНК	1,33 ± 0,07	1,03 ± 0,05	1,55 ± 0,07	1,23 ± 0,06
РНК	0,85 ± 0,05*	0,52 ± 0,03*	1,00 ± 0,06*	0,90 ± 0,05*
РНК/ДНК	0,64 ± 0,03*	0,50 ± 0,02*	0,65 ± 0,03*	0,73 ± 0,04*
Натрій лаурил сульфат, 2 мг/дм ³				
ДНК	1,31 ± 0,07	1,01 ± 0,06	1,53 ± 0,08	1,22 ± 0,06
РНК	0,82 ± 0,04*	0,51 ± 0,03*	0,95 ± 0,05*	0,87 ± 0,05*
РНК/ДНК	0,63 ± 0,03*	0,51 ± 0,02*	0,62 ± 0,03*	0,71 0,04*

* – статистично вірогідно, $p < 0,05$.

виявлено за дії мікотоксину T2, який спричинив падіння РНК у тканинах печінки й м'язів майже в 1,8–2,2 рази щодо контролю. Подібний ефект, хоча дещо менш виражений, спостерігався за дії іонів свинцю. Це може пояснюватися високою токсичністю зазначених сполук і здатністю порушувати рибосомну активність.

У контрольній групі максимальний вміст РНК зафіксовано в печінці ($1,60 \pm 0,10$ мкг/г), що узгоджується з її ключовою роллю в обміні речовин. Також саме печінка демонструє найвище співвідношення РНК/ДНК ($1,00 \pm 0,05$), що вказує на високий рівень метаболічної активності у фізіологічно стабільних умовах.

Під впливом мікотоксину T2 в усіх тканинах спостерігається достовірне зниження РНК ($p < 0,05$), найсильніше – у печінці та білих м'язах, зниження майже на 44 та 40% відповідно. Це супроводжується зниженням співвідношення РНК/ДНК – на 40% ($p < 0,05$) та 34% ($p < 0,05$) щодо контролю, що свідчить про пригнічення білкового синтезу.

У результаті дослідження встановлено, що всі досліджені токсиканти спричиняли зниження вмісту РНК у тканинах карася порівняно з контролем, що свідчить про їхній негативний вплив на синтетичну активність клітин.

Мікотоксин В1, гербіцид Зенкор і натрій лаурилсульфат зумовили зниження вмісту РНК в межах 25–35% залежно від типу тканини. Найбільш виражене зниження спостерігалось в печінці та білих м'язах – тканинах із високим рівнем білкового метаболізму, що робить їх особливо чутливими до дії ксенобіотиків. Наприклад, за дії мікотоксину В1 у печінці рівень РНК знижувався приблизно на 31%, а в білих м'язах – на понад 26% щодо контролю. Попри меншу вираженість порівняно з T2, ефекти залишались статистично достовірними ($p < 0,05$).

Під впливом іонів свинцю зниження вмісту РНК сягало 45–50% у більшості тканин, з максимумом у печінці та білих м'язах. Це супроводжувалося суттєвим зниженням співвідношення РНК/ДНК, що свідчить про системну дію токсиканту та метаболічне пригнічення навіть у відносно стабільних тканинах, як-от мозок і зябра.

Гербіцид Зенкор спричинив достовірне зниження РНК у всіх досліджених тканинах, найпомітніше – у печінці та м'язах

(зниження на 30–35%). Подібну динаміку відзначено також для натрію лаурилсульфату, де вміст РНК у печінці та білих м'язах знижувався в середньому на 33% ($p < 0,05$).

Зменшення вмісту ДНК було незначним (менш ніж 10%) і статистично недовірливим, що свідчить про збереження цілісності клітинного ядра. Це дозволяє зробити висновок, що основним ефектом токсикантів було порушення синтетичної функції клітин, а не цитоліз чи зменшення клітинної маси.

Інтегральний показник – співвідношення РНК/ДНК – знижувався в усіх експериментальних групах. Найбільше зниження спостерігалось в білих м'язах під дією мікотоксину T2 (на 34%) та іонів свинцю (на 26%). У печінці співвідношення РНК/ДНК зменшувалося на 35–40% ($p < 0,05$), що свідчить про глибоке пригнічення білкового синтезу в метаболічно активних тканинах.

У мозку та зябрах зниження рівня РНК і співвідношення РНК/ДНК було менш вираженим (на 15–20%), однак достовірним, що вказує на системний, хоча і помірніший, вплив токсикантів на відносно резистентні тканини нервової та дихальної систем.

Отримані результати підтверджують, що рівень РНК та співвідношення РНК/ДНК є чутливими маркерами токсичної дії ксенобіотиків. Їхні зміни у тканинах з високим метаболізмом можуть бути використані як ранні індикатори метаболічного пригнічення за дії екзогенних забруднювачів.

Усі токсиканти спричиняли порушення нуклеїнового обміну зі збереженням порівняно стабільного рівня ДНК, що дозволяє інтерпретувати зниження співвідношення РНК/ДНК як індикатор пригнічення синтетичних процесів. Найбільш значущі зміни зафіксовано за дії мікотоксину T2 та іонів свинцю, що свідчить про високу чутливість тканин карася до цих чинників.

Отримані дані демонструють чіткі зміни в нуклеїновому гомеостазі тканин карася звичайного під впливом досліджуваних токсикантів. Стабільність рівня ДНК за помітних коливань РНК та співвідношення РНК/ДНК свідчить про те, що саме ці показники є більш чутливими до гострої токсичної дії і можуть виступати як ранні індикатори фізіологічного стресу. Зокрема, значне зниження вмісту

РНК та співвідношення РНК/ДНК, відзначене в печінці та м'язах під впливом мікотоксину Т2 та іонів свинцю, вказує на суттєве пригнічення синтетичних процесів і метаболічної активності в цих органах, що є прямою відповіддю на токсичне навантаження.

Ці результати підтверджують гіпотезу, що зміни вмісту нуклеїнових кислот у тканинах карася є високопотенційним маркером для біоіндикації токсичної дії водного середовища. Чутливість показника РНК/ДНК до дії різних за природою забруднювачів (мікотоксинів, металів, гербіцидів, ПАР) демонструє його універсальність та придатність для моніторингу широкого спектра ксенобіотиків. Отже, інтеграція аналізу нуклеїнових кислот у програми екологічного моніторингу дозволить отримати оперативну та точну інформацію про рівень забруднення та його вплив на водні біоти, сприятиме розробленню більш ефективних стратегій захисту водних екосистем

Висновки

Проведене дослідження засвідчило, що у тканинах і органах карася під впливом низки ксенобіотиків (мікотоксини Т2 і В1, іони Pb²⁺, гербіцид Зенкор, натрій лаурилсульфат) відбувається статистично досто-

вірне зниження вмісту РНК у всіх досліджених структурах. Найбільш виражені зміни зафіксовано в печінці та білих м'язах – метаболічно активних тканинах, що вирізняються підвищеною чутливістю до токсичної дії. У цих органах рівень РНК знижувався на 30–50% залежно від характеру токсиканта, що супроводжувалося зменшенням співвідношення РНК/ДНК на 25–40%. Концентрація ДНК змінювалася неістотно ($\leq 10\%$ від контрольних значень) і статистично недостовірно, що свідчить про збереження клітинної цілісності та відсутність масового цитолізу.

Зниження співвідношення РНК/ДНК, яке відображає загальну метаболічну активність, виявилось чітко вираженим у всіх експериментальних групах, особливо під дією мікотоксину Т2 й іонів свинцю, де цей показник наближався до критично низьких значень. Отримані результати дають підстави розглядати рівень РНК та співвідношення РНК/ДНК як інформативні біомаркери раннього прояву токсичної дії ксенобіотиків. Їх застосування в біоіндикаційних дослідженнях є перспективним для оцінювання якості водного середовища, екологічного моніторингу та збереження здоров'я гідробіонтів.

Список використаної літератури

- Апецько А.М., Симонова Н.А., Мехед О.Б. Зміни біохімічних показників в органах та тканинах коропа лускатого *Syrpinus carpio* L. за дії гербіцидів у поєднанні із солями цинку. *Сучасні проблеми теоретичної і практичної іхтіології* : збірник наукових праць. Харків, 2021. С. 9–13.
- Афанасьєва К.С., Чопей М.І. Сучасні методи молекулярної біології. Київ : КНУ імені Т.Г. Шевченка, 2024. 129 с.
- Грубіно В.В. Інтегральна оцінка токсичного ураження у біологічних системах. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. Серія «Біологія». 2005а. № 3. С. 111–114.
- Грубіно В.В. Системна оцінка метаболічних адаптацій у гідробіонтів. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. Серія «Біологія». 2005б. № 2. С. 36–39.
- Желай М.В., Полотнянко А.В., Ячна М.Г., Мехед О.Б., Третяк О.П. Вплив мікотоксину Т2 на іхтіологічні показники корошових риб. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. Серія «Біологія». 2023а. Т. 84. № 1. С. 35–40. <https://doi.org/10.25128/2078-2357.24.1.5>.
- Желай М.В., Ячна М.Г., Мехед О.Б., Третяк О.П. Адаптивні зміни іхтіологічних показників корошових риб за дії мікотоксину Т2. *Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату* : збірник наукових праць. Чернівці, 2023б. С. 77–78.
- Матюшко С.М., Мехед О.Б. Зміни вмісту аденілатів у тканинах коропа за дії мікотоксину Т2. *Biota. Human. Technology*. 2024. № 3. С. 78–83. <https://doi.org/110.58407/bht.3.24.5>.
- Мехед О.Б. Вплив мікотоксину Т2 на деякі біохімічні показники гідробіонтів. *Молюски: результати, проблеми і перспективи досліджень* : збірник наукових праць. Житомир, 2024. С. 19–21.
- Мехед О.Б. Вплив токсикантів різної хімічної природи на вміст нуклеїнових кислот в організмі коропа різного віку. *Сучасні проблеми теоретичної та практичної іхтіології* : збірник наукових праць. Тернопіль, 2013а. С. 203–205.

Мехед О.Б. Вміст нуклеїнових кислот в органах та тканинах коропа залежно від умов утримання. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. Серія «Біологія». 2013b. № 3 (56). С. 73–78.

Мусієнко Н.Г., Жиденко А.О., Мехед О.Б., Коваленко О.М. Вплив пестицидів на морфологічні показники коропа. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. Серія «Біологія». 2005. № 3 (26). С. 319–321.

Ніколаєнко Т.М., Іващенко М.О., Іващенко Н.В., Мехед О.Б. Адаптивні зміни показників крові коропа лускатого (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) як відповідь на забруднення води. *Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату* : збірник наукових праць. Чернігів, 2023. С. 99–100.

Пантюшенко І.М., Мехед О.Б., Третяк О.П. Особливості нуклеїнового гомеостазу цьогорічки коропа за токсичних умов утримання. *Екологічний інтелект – 2012* : збірник наукових праць. Дніпропетровськ, 2012. С. 63–65.

Полотнянко Л.В., Мехед О.Б. Зміни біохімічних показників у тканинах коропа лускатого (*Cyprinus carpio* L.) під дією мікотоксину Т2. *Актуальні проблеми дослідження довкілля* : збірник наукових праць. Суми, 2023а. С. 205–207.

Полотнянко Л.В., Мехед О.Б. Накопичення мікотоксинів у м'язах коропа лускатого (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) при згодовуванні корму, контамінованого Т2-токсиком. *Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату* : збірник наукових праць. Чернігів, 2023b. С. 105–106.

Gilbey J., Carvalho G., Castilho R., Coscia I., Coulson M.W., Dahle G., Derycke S., Francisco S.M., Helyar S.J., Johansen T., Junge C., Layton K.K., Martinsohn J., Matejusova I., Robalo J.I., Rodriguez-Ezpeleta N., Silva G., Strammer I., Vasemägi A., Volckaert F.A. Life in a drop: Sampling environmental DNA for marine fishery management and ecosystem monitoring. *Marine Policy*. 2021. № 124. P. 104331–104331. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104331>.

Lowry O., Rosebrough N., Farr A., Randall R. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal Biological Chemistry*. 1951. № 193. P. 265–275.

Marques V., Milhau T., Albouy C., Dejean T., Manel S., Mouillot D., Juhel J. GAPeDNA: Assessing and mapping global species gaps in genetic databases for eDNA metabarcoding. *Diversity and Distributions* / T. Dutta (Ed.). 2021. № 27 (10). P. 1880–1892. <https://doi.org/10.1111/ddi.13142>.

Pawlowski J., Bonin A., Boyer F., Cordier T., Taberlet P. Environmental DNA for biomonitoring. *Molecular Ecology*. 2021. № 30 (13). P. 2931–2936. <https://doi.org/10.1111/mec.16023>.

Polotnianko L., Mekhed O. Changes in the morphological indicators of carp under the action of mycotoxin T2. *Biota. Human. Technology*. 2024. № 3. P. 69–76. <https://doi.org/10.58407/bht.3.24.4>.

Stat M., John J., DiBattista, J.D., Newman S.J., Bunce M., Harvey E.S. Combined use of eDNA metabarcoding and video surveillance for the assessment of fish biodiversity. *Conservation Biology*. 2019. № 33 (1). P. 196–205. <https://doi.org/10.1111/cobi.13183>.

Yatsenko I.V., Bohatko N.M., Bulgakova N.V. Hygiene and expertise of food hydrobionts and their processing products. Part 1 : Hygiene and expertise of fishery products : A textbook. Kharkiv : Disa Plus, 2017. 168 p.

Veilleux H.D., Misutka M.D., Glover C.N. Environmental DNA and environmental RNA: Current and prospective applications for biological monitoring. *Science of the Total Environment*. 2021. № 782. P. 146891–146891. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146891>.

World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki. Ethical principles for medical research involving human subjects. *Bulletin of the World Health Organization*. 2001. № 79 (4). P. 373–374. URL: <https://iris.who.int/handle/10665/268312>.

References

Apetsko, A.M., Symonova, N.A., & Mekhed, O.B. (2021). Zminy biokhimichnykh pokaznykiv v orhanakh ta tkanynakh koropa luskatogo *Cyprinus carpio* L. za dii herbitysydiv v poiednanni iz soliamy tsynku [Changes in biochemical parameters in organs and tissues of scaly carp *Cyprinus carpio* L. under the influence of herbicides combined with zinc salts]. *Zbirnyk naukovykh prats "Suchasni problemy teoretychnoi i praktychnoi ikhtiolohii"* [Collection of scientific works "Modern problems of theoretical and practical ichthyology"], Kharkiv, 9–13 [in Ukrainian].

Afanasyeva, K.S., & Chopei, M.I. (2024). Suchasni metody molekuliarnoi biolohii [Modern methods of molecular biology]. Kyiv, Taras Shevchenko National University of Kyiv [in Ukrainian].

Grubinko, V.V. (2005). Integralna otsinka toksychnoho urazhennia u biolohichnykh systemakh [Integral assessment of toxic damage in biological systems]. *Naukovi zapysky TNPU. Serii: Biolohiia [Scientific notes of TNPU. Series: Biology]*, 3, 111–114 [in Ukrainian].

Grubinko, V.V. (2005). Systemna otsinka metabolichnykh adaptatsii u hidrobiontiv [Systemic assessment of metabolic adaptations in hydrobionts]. *Naukovi zapysky TNPU. Serii: Biolohiia [Scientific notes of TNPU. Series: Biology]*, 2, 36–39 [in Ukrainian].

Zhelai, M.V., Polotnianko, L.V., Yachna, M.H., Mekhed, O.B., & Tretiak, O.P. (2023). Vplyv mikotoksynu T2 na ikhtiologichni pokaznyky koropovykh ryb [Influence of mycotoxin T2 on ichthyological parameters of carp fish]. *Naukovi zapysky Ternopil'skoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Serii: Biolohiia [Scientific notes of TNPU. Series: Biology]*, 84 (1), 35–40 [in Ukrainian].

Zhelai, M., Yachna, M., Mekhed, O., & Tretiak, O. (2023). Adaptivni zminy ikhtiologichnykh pokaznykiv koropovykh ryb za dii mikotoksynu T2 [Adaptive changes in ichthyological parameters of carp fish under the action of mycotoxin T2]. *Zbirnyk naukovykh prats "Pryrodni resursy prykordonnykh terytorii v umovakh zminy klimatu" [Collection of scientific works "Natural resources of border areas in the context of climate change"]*. Chernihiv, 77–78 [in Ukrainian].

Matiushko, S., & Mekhed, O. (2024). Zminy vmistu adenilativ v tkanynakh karpa za dii mikotoksynu T2 [Changes in adenylate content in carp tissues under the action of mycotoxin T2]. *Biota. Human. Technology [Biota. Human. Technology]*, 3, 78–83. <https://doi.org/110.58407/bht.3.24.5> [in Ukrainian].

Mekhed, O.B. (2024). Vplyv mikotoksynu T2 na deiaki biokhimichni pokaznyky hidrobiontiv [Influence of mycotoxin T2 on some biochemical parameters of hydrobionts]. *Zbirnyk naukovykh prats "Moliusky: rezultaty, problemy i perspektivy doslidzhen" [Collection of scientific works "Mollusks: results, problems and research prospects"]*. Zhytomyr, 19–21 [in Ukrainian].

Mekhed, O.B. (2013). Vplyv toksykantiv riznoi khimichnoi pryrody na vmist nukleinykh kyslot v orhanizmi koropa raznoho viku [Influence of toxicants of different chemical nature on the content of nucleic acids in the body of carp of different ages]. *Zbirnyk naukovykh prats "Suchasni problemy teoretychnoi ta praktychnoi ikhtiologii" [Collection of scientific works "Modern problems of theoretical and practical ichthyology"]*. Ternopil, 203–205 [in Ukrainian].

Mekhed, O.B. (2013). Vmist nukleinykh kyslot v orhanakh ta tkanynakh koropa zalezho vid umov utrymanna [Content of nucleic acids in organs and tissues of carp depending on keeping conditions]. *Naukovi zapysky Ternopil'skoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Serii: Biolohiia [Scientific notes of TNPU. Series: Biology]*, 3 (56), 73–78 [in Ukrainian].

Musiienko, N.H., Zhydenko, A.O., Mekhed, O.B., & Kovalenko, O.M. (2005). Vplyv pestytsydiv na morfologichni pokaznyky koropa [Influence of pesticides on morphological parameters of carp]. *Naukovi zapysky Ternopil'skoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Serii: Biolohiia [Scientific notes of TNPU. Series: Biology]*, 3 (26), 319–321 [in Ukrainian].

Nikolaenko, T., Ivashchenko, M., Ivashchenko, N., & Mekhed, O. (2023). Adaptivni zminy pokaznykiv krovi koropa luskatogo (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) yak vidpovid na zabrudnennia vody [Adaptive changes in blood parameters of scaly carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) as a response to water pollution]. *Zbirnyk naukovykh prats "Pryrodni resursy prykordonnykh terytorii v umovakh zminy klimatu" [Collection of scientific works "Natural resources of border areas in the context of climate change"]*. Chernihiv, 99–100 [in Ukrainian].

Pantiushenko, I.M., Mekhed, O.B., & Tretiak, O.P. (2012). Osoblyvosti nukleynoho homeostazu tsohorichky koropa za toksychnykh umov utrymanna [Features of nucleic homeostasis of this year's carp under toxic keeping conditions]. *Zbirnyk naukovykh prats "Ekologichni intelekt – 2012" [Collection of scientific works "Ecological Intelligence – 2012"]*. Dnipropetrovsk, 63–65 [in Ukrainian].

Polotnianko, L.V., & Mekhed, O.B. (2023). Zminy biokhimichnykh pokaznykiv v tkanynakh koropa luskatogo (*Cyprinus carpio* L.) pid diieiu mikotoksynu T2 [Changes in biochemical parameters in tissues of scaly carp (*Cyprinus carpio* L.) under the action of mycotoxin T2]. *Zbirnyk naukovykh prats "Aktualni problemy doslidzhennia dovkillia" [Collection of scientific works "Current issues in environmental research"]*. Sumy, 205–207 [in Ukrainian].

Polotnianko, L., & Mekhed, O. (2023). Nakopychennia mikotoksyniv u m'iazakh koropa luskatogo (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) pry zghodovuvanni kormu, kontaminovanoho T2-toksynom [Accumulation of mycotoxins in the muscles of scaly carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) when fed T2-toxin contaminated feed]. *Zbirnyk naukovykh prats "Pryrodni resursy prykordonnykh terytorii*

v umovakh zminy klimatu” [Collection of scientific works “Natural resources of border areas in the context of climate change”]. Chernihiv, 105–106 [in Ukrainian].

Gilbey, J., Carvalho, G., Castilho, R., Coscia, I., Coulson, M.W., Dahle, G., Derycke, S., Francisco, S.M., Helyar, S.J., Johansen, T., Junge, C., Layton, K.K., Martinsohn, J., Matejusova, I., Robalo, J.I., Rodríguez-Ezpeleta, N., Silva, G., Strammer, I., Vasemägi, A. & Volckaert, F.A. (2021). Life in a drop: Sampling environmental DNA for marine fishery management and ecosystem monitoring. *Marine Policy*, 124, 104331–104331. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104331> [in English]

Lowry, O., Rosebrough, N., Farr, A. & Randall, R. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal Biological Chemistry*. 193: 265–275 [in English].

Marques, V., Milhau, T., Albouy, C., Dejean, T., Manel, S., Mouillot, D., & Juhel, J. (2021). GAPeDNA: Assessing and mapping global species gaps in genetic databases for eDNA metabarcoding. In: Dutta, T. (Ed.), *Diversity and Distributions*, 27 (10), 1880–1892. <http://doi.org/10.1111/ddi.13142> [in English].

Pawlowski, J., Bonin, A., Boyer, F., Cordier, T., & Taberlet, P. (2021). Environmental DNA for biomonitoring. *Molecular Ecology*, 30 (13), 2931–2936. <http://dx.doi.org/10.1111/mec.16023> [in English].

Polotnianko, L., & Mekhed, O. (2024). Changes in the morphological indicators of carp under the action of mycotoxin T2. *Biota. Human. Technology*, 3, 69–76. <https://doi.org/10.58407/bht.3.24.4> [in English].

Stat, M., John, J., DiBattista, J.D., Newman, S.J., Bunce, M., & Harvey, E.S. (2019). Combined use of eDNA metabarcoding and video surveillance for the assessment of fish biodiversity. *Conservation Biology*, 33 (1), 196–205. <http://dx.doi.org/10.1111/cobi.13183> [in English].

Yatsenko, I.V., Bohatko, N.M., & Bulgakova, N.V. (2017). Hygiene and expertise of food hydrobionts and their processing products. Part 1. Hygiene and expertise of fishery products: A textbook. Kharkiv: Disa-Plus [in English].

Veilleux, H.D., Misutka, M.D., & Glover, C.N. (2021). Environmental DNA and environmental RNA: Current and prospective applications for biological monitoring. *Science of the Total Environment*, 782, 146891–146891. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146891> [in English].

World Medical Association (2001). World Medical Association Declaration of Helsinki. Ethical principles for medical research involving human subjects. *Bulletin of the World Health Organization*, 79 (4), 373–374. <https://iris.who.int/handle/10665/268312> [in English].

Отримано: 28.04.2025

Прийнято: 17.09.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 631.879:631.461.2:635.21
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.9>

ВПЛИВ БАРДИ МЕЛЯСНОЇ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ АГРОЦЕНОЗУ КАРТОПЛІ ТА БІОЛОГІЧНИЙ СТАН ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОГО ҐРУНТУ

Р. Я. Мелимука¹, А. В. Долук²

У сучасних умовах трансформації аграрного виробництва, спричиненої змінами клімату та зростанням вартості мінеральних добрив, питання впровадження екологічно безпечних і економічно доцільних органічних добрив набуває особливої актуальності. Одним із перспективних шляхів у цьому напрямі є використання побічних продуктів харчової та спиртової промисловості, зокрема барди мелясної – органічної рідини, що містить комплекс мікро- та макроелементів, біологічно активних речовин і залучається в колообіг органічної речовини в агросистемах. У роботі висвітлено результати трирічного польового дослідження (2022–2024 роки), спрямованого на вивчення впливу барди мелясної як добрива на продуктивність агроценозу картоплі сорту Беллароза та біологічний стан дерново-підзолистого ґрунту на території Західного Полісся України.

Барду застосовували у трьох дозах (10, 20 та 30 т/га), порівнювали результати з контролем (без добрив) і традиційною мінеральною системою удобрення (N90P70K170). У процесі дослідження проводили біометричні вимірювання, оцінювали врожайність, а також визначали один із провідних мікробіологічних індикаторів – целюлозолітичну активність, за розкладом лляного полотна у ґрунтових горизонтах.

Установлено, що застосування барди в дозах 20–30 т/га суттєво покращує біометричні параметри бульб (зростання маси на 21–34%, діаметра – на 17,2–27,6%), забезпечує стабільне підвищення врожайності до 25 т/га (приріст на 31,5% порівняно з контролем) та значно активізує мікробіоту ґрунту. За дози 30 т/га інтенсивність розкладу лляного полотна досягла 93,75% у верхньому шарі ґрунту та 79,15% у нижньому, що свідчить про високий рівень мікробіологічної активності. Надійність результатів підтверджено сильними кореляційними зв'язками між досліджуваними показниками: $r = 0,944–0,984$.

Практична цінність полягає в обґрунтуванні доцільності використання барди мелясної як місцевого органічного ресурсу в системах органічного землеробства, з урахуванням балансу між ефективністю та екологічною безпекою. Доза 20 т/га визначена як оптимальна, оскільки забезпечує підвищення врожайності та біологічної активності без ризику вторинного засолення ґрунтів. Отримані результати можуть бути інтегровані у програми сталого управління родючістю ґрунтів у регіонах з легкими за гранулометричним складом і малобуферними ґрунтами.

Ключові слова: органічне добриво, целюлозолітична активність, мікрофлора ґрунту, картопля, дерново-підзолистий ґрунт, продуктивність.

¹ доктор філософії з біології

(Поліська дослідна станція Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», м. Луцьк)

e-mail: r.melymuka22@gmail.com

ORCID: 0000-0003-2133-5654

² аспірант

(Поліська дослідна станція Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», м. Луцьк)

e-mail: anastasiadoluk@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9849-472

INFLUENCE OF MOLASSES BARD ON POTATO AGROCENOSIS PRODUCTIVITY AND BIOLOGICAL STATE OF SOD-PODZOLIC SOIL

R. Ya. Melymuka, A. V. Doliuk

In the current context of agricultural transformation driven by climate change and rising costs of mineral fertilizers, the implementation of environmentally friendly and economically viable organic fertilizers is becoming increasingly important. One of the promising approaches is the use of by-products from the food and alcohol industries, such as molasses stillage – a liquid organic material rich in macro- and micronutrients, biologically active compounds, and organic matter that contributes to nutrient cycling in agroecosystems. This paper presents the findings of a three-year field study (2022–2024) focused on assessing the impact of molasses stillage as a fertilizer on the productivity of Bellarosa potato agrocenosis and the biological status of sod-podzolic soil in the Western Polissia region of Ukraine. Stillage was applied at three doses (10, 20, and 30 t/ha), with comparisons made to an unfertilized control and a conventional mineral fertilization scheme (N90P70K170). Throughout the study, biometric parameters were recorded, yield performance was assessed, and one of the key microbiological indicators – cellulolytic activity – was determined by monitoring the decomposition rate of flax fabric in soil horizons.

It was established that the application of stillage at 20–30 t/ha significantly improved tuber biometric indicators (increases in mass by 21–34% and diameter by 17,2–27,6%), ensured a stable yield increase up to 25 t/ha (a 31,5% gain over the control), and notably enhanced soil microbial activity. At the highest dose (30 t/ha), flax decomposition intensity reached 93,75% in the upper soil layer and 79,15% in the lower one, indicating a high level of microbiological function. The reliability of the results was confirmed by strong correlations between fertilizer dose, yield, and microbial activity ($r = 0,944–0,984$). The practical value of the research lies in substantiating the use of molasses stillage as a local organic resource within organic farming systems, balancing agronomic efficiency with environmental safety. A 20 t/ha dose was identified as optimal, as it provides both productivity benefits and improved biological soil function without inducing secondary salinization. The findings can be integrated into sustainable soil fertility management strategies for regions characterized by sandy-textured and low-buffer capacity soils.

Key words: organic fertilizer, cellulolytic activity, soil microflora, potato, sod-podzolic soil, productivity.

Вступ

Сучасна аграрна наука активно працює над розробленням новітніх технологій, спрямованих на підвищення родючості ґрунтів за мінімального впливу на навколишнє середовище. В умовах глобальних змін клімату, деградації ґрунтів і посилення вимог до сталого землеробства особливо актуальним є пошук альтернативних джерел органічних добрив, які б сприяли збереженню і покращенню ґрунтового балансу. Одним із таких напрямів є використання органічних відходів харчової та агропромислової промисловості, зокрема барди м'ясної, побічного продукту спиртового виробництва, сприяє збереженню і покращенню ґрунтового балансу, а також може бути ефективним на дерново-підзолистих ґрунтах (Гаврилюк та ін., 2018).

Барда м'ясна, що утворюється у процесі виробництва етилового спирту, містить значну кількість органічних і неорганічних компонентів, як-от азот, фосфор, калій, кальцій, магній і сірка, що можуть значно покращити агрохімічні властивості ґрунту, зокрема в дерново-підзолистих ґрунтах, які характеризуються низьким вмістом гумусу та кислою реакцією ґрунтового середовища.

Завдяки цьому використанню барди може не лише сприяти підвищенню родючості, але й впливати на структуру ґрунту, водоутримувальну здатність і біологічну активність.

Дослідження використання м'ясної барди в сільському господарстві набули значного поширення у країнах із розвинутою спиртовою промисловістю, де науковці не лише шукали способи утилізації великих обсягів відходів, а й намагалися знайти способи ефективного застосування цих матеріалів для покращення якості ґрунтів. Зокрема, виявлено, що застосування барди в помірних дозах може мати позитивний ефект на підвищення родючості ґрунтів, активізувати ріст рослин, підвищувати їхню стійкість до хвороб і шкідників, оптимізувати доступність макро- і мікроелементів для кореневої системи. Однак варто зазначити, що в разі надмірного використання барди може виникнути ризик засолення ґрунтів, а також зміни кислотно-лужного балансу, що, своєю чергою, негативно позначиться на розвитку сільськогосподарських культур (Christofolletti et al., 2013).

В Україні практика застосування м'ясної барди поки що перебуває на стадії

становлення, однак уже є ознаки її перспективності для аграрного сектору. Оскільки країна володіє розвиненою спиртовою промисловістю, де виробляються великі обсяги барди, необхідно проводити поглиблені дослідження для визначення впливу цього відходу на основні сільськогосподарські культури, зокрема картоплю. Це не лише дасть змогу вдосконалити методи утилізації барди, а й допоможе розробити більш ефективні й безпечні технології її використання.

Мелясна барда є джерелом значної кількості біологічно активних речовин, серед яких органічні кислоти, білки та залишкові цукри, а також до 25% органічної речовини. Це робить її дуже перспективним джерелом органічного гумусу, що може покращити структуру ґрунтів, збільшити їхню водоємність і сприяти розвитку кореневої системи рослин (Usman et al., 2008; Сухенко та ін., 2016). Внесення барди також має позитивний вплив на підвищення доступності основних поживних елементів у ґрунті, що стимулює ріст рослин і покращує їхні фізіологічні процеси.

Водночас важливо зазначити, що, за результатами багатьох досліджень, надмірне застосування добрив на основі спиртових відходів може призводити до низки негативних наслідків для ґрунтів. Унаслідок постійного надлишкового внесення барди спостерігається ризик накопичення солей у ґрунті, що може спричинити засолення та зниження ефективності обробки земель. Зокрема, надмірне внесення може призводити до засолення ґрунтів, зміни кислотно-лужного балансу та зниження врожайності, що узгоджується з даними про нормативи якості ґрунтів за впливу техногенних чинників (Christofoletti et al., 2013; Семенюк, 2017).

Отже, дослідження впливу барди мелясної на родючість ґрунтів, її взаємодії з різними агротехнічними чинниками має велике значення для розроблення оптимальних доз цього органічного добрива, яке могло б забезпечити стабільність агрохімічного середовища ґрунтів і сприяти сталому розвитку сільського господарства. Поглиблені агробіологічні дослідження в цьому напрямі допоможуть знайти збалансовані методи використання барди, які дозволять максимально використовувати її потенціал, знижувати ризики негативного впливу на довкілля та забезпечувати ефективне підвищення родючості ґрунтів.

Матеріал і методи

Дослідження проведено у 2022–2024 рр. на полях Колківського центру професійної освіти (Луцький район Волинської області). Ґрунт дослідної ділянки – дерново-підзолистий зв'язано-піщаний.

Мета роботи полягала в установленні впливу різних доз барди мелясної на врожайність картоплі сорту Беллароза та біологічний стан дерново-підзолистого ґрунту.

Схема досліду включає такі варіанти:

1. Контроль (без добрив).
2. Барда – 10 т/га.
3. Барда – 20 т/га.
4. Барда – 30 т/га.
5. $N_{90}P_{70}K_{170}$ – еквівалентно 10 т/га.

Досліди закладено методом рендомізації, триразова повторність. Облікова площа ділянок – 10 м². Культура – картопля сорту Беллароза. Зразки ґрунту відібрано до і після досліду із глибини 0–20 та 20–40 см.

Біометричні показники бульб (маса, діаметр) обліковували за стандартними методиками. Урожайність визначали шляхом зважування продукції з облікових ділянок.

Показник целюлозолітичної активності визначався за методикою Є.М. Мішустіна, яка дозволяє оцінити здатність ґрунтових мікроорганізмів до розкладу органічних матеріалів, зокрема целюлози. Для цього використовувалося ляне полотно, яке має високий вміст целюлози, що робить його ідеальним субстратом для дослідження целюлозолітичної активності ґрунтових організмів. Спочатку полотно масою приблизно 3,0 г закопували у ґрунт на глибину 15 см, де воно перебувало протягом 50 діб. Під час цього періоду на поверхню полотна впливали різні ґрунтові умови, як-от температура, вологість і активність мікробіоти, що безпосередньо впливає на процес розкладу (Антипчук та ін., 2011).

Після закінчення зазначеного часу полотно викопували, ретельно очищали від ґрунту й висушували до повітряно-сухого стану, щоб запобігти додатковому зволоженню, яке могло б вплинути на точність вимірювань. Потім визначали масу залишкового полотна, що дозволяло визначити ступінь його розкладу у ґрунті. Показник целюлозолітичної активності обчислювався як відсоткове зменшення маси льяного полотна щодо його початкової ваги. Цей показник дозволяє оцінити ефективність розкладу органічних матеріалів і визначити активність мікроорганізмів, які відповідають за цей процес, отже, є важливим для

розуміння біологічної активності ґрунту, оскільки розкладання органічних речовин є ключовим процесом для підтримки родючості ґрунтів. Варто зазначити, що мікроорганізми, які беруть участь у розкладі целюлози, не тільки стимулюють розпад органічних залишків, але й сприяють утворенню гумусу, що є основним джерелом живих речовин для рослин.

Результати

Внесення мелясної барди позитивно вплинуло на біометричні показники бульб картоплі (табл. 1). За дози барди 20 т/га маса бульб зросла на 21%, а діаметр – на 17,2% порівняно з контролем. Найвищі показники отримано за дози 30 т/га: маса – 107,4 г (+34%), діаметр – 74 мм (+27,6%).

Аналіз урожайності підтвердив ці результати (табл. 2). Найбільший приріст (+31,5%) отримано за внесення барди в дозі 30 т/га. Варіант із внесенням 20 т/га барди забезпечив приріст урожаю на 27,3%.

Вагомий вплив на врожайність картоплі, згідно з результатами досліджень, мають дозування внесення барди мелясної. На рисунку 1 продемонстровано пряму кореляцію між кількістю внесеної мелясної барди та врожайністю картоплі сорту Беллароза. Зі зростанням дози барди від 0 до 30 т/га спостерігається поступове збільшення врожайності від 19,0 до 25,0 т/га. Така динаміка

відображає лінійну тенденцію, що засвідчує позитивний вплив органічного добрива на продуктивність культури. Статистичний аналіз виявив тісний зв'язок між зазначеними показниками: коефіцієнт кореляції становить $r = 0,975$, що вказує на дуже сильну залежність урожайності від рівня органічного удобрення.

Окрім показників урожайності, важливим завданням дослідження було встановлення впливу мелясної барди на біологічну активність дерново-підзолистого ґрунту, зокрема на один із ключових мікробіологічних індикаторів – целюлозолітичну активність. Оцінювання цього параметра здійснювалося за результатами досліджень з розкладом лляного полотна, яке виступає субстратом для мікроорганізмів – деструкторів целюлози. Що вищий ступінь розкладу полотна, то інтенсивніше функціонує целюлозолітична мікрофлора, що прямо свідчить про біологічну активність ґрунту, його здатність до трансформації органічної речовини.

У результаті проведених досліджень щодо впливу застосування барди мелясної як органічного добрива на дерново-підзолистому ґрунті зафіксована чітка залежність між дозою внесеної барди мелясної та інтенсивністю розкладу лляного полотна у двох горизонтах ґрунту (0–20 та 20–40 см) (табл. 3).

Таблиця 1

Вплив барди на біометричні показники бульб картоплі (середні дані за 2022–2024 рр.)

Варіанти дослідів	*Маса, г	Приріст до контролю, %	*Діаметр, мм	Приріст до контролю, %
1. Контроль (без добрив)	80,3	–	58	–
2. Барда – 10 т/га	86,6	+8	61	+5,2
3. Барда – 20 т/га	97,3	+21	68	+17,2
4. Барда – 30 т/га	107,4	+34	74	+27,6
5. N ₉₀ P ₇₀ K ₁₇₀ – екв. 10 т/га	87,3	+9	63	+8,6
НІР ₀₅	2,1	–	1,0	–

* – середнє значення однієї бульби.

Таблиця 2

Вплив барди мелясної на врожай бульб картоплі сорту Беллароза (середні дані за 2022–2024 рр.)

Варіанти дослідів	Урожай, т/га	Приріст до контролю	
		т/га	%
1. Контроль (без добрив)	19,0	–	–
2. Барда – 10 т/га	21,8	2,8	14,7
3. Барда – 20 т/га	24,2	5,2	27,3
4. Барда – 30 т/га	25,0	6,0	31,5
5. N ₉₀ P ₇₀ K ₁₇₀ – еквівалентно 10 т/га	21,5	2,5	13,1
НІР ₀₅		1,6	

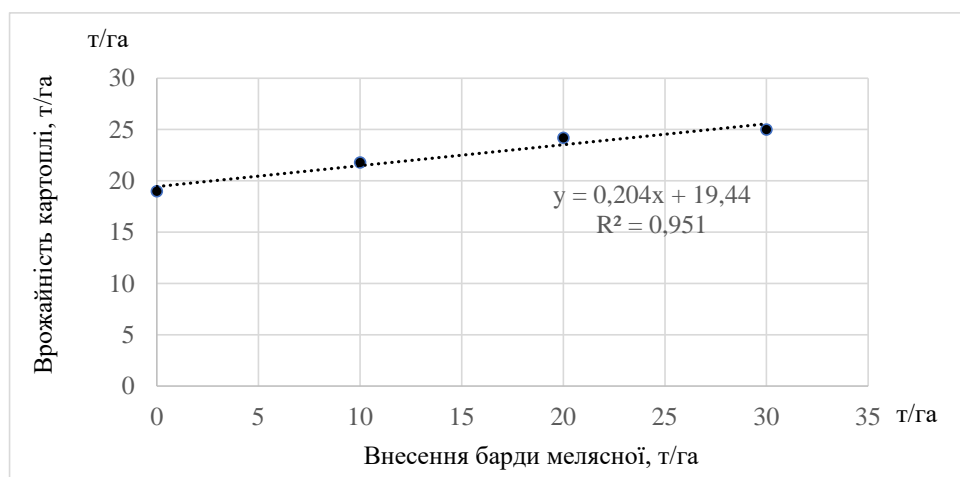


Рис. 1. Кореляція доз внесення барди мелясної з урожайністю картоплі

Таблиця 3

Інтенсивність розкладу лляного полотна

Варіанти дослідів	Шар ґрунту, см	Інтенсивність розкладу, %
1. Контроль (без добрив)	0–20	81,55
	20–40	51,40
2. Барда – 10 т/га	0–20	83,57
	20–40	53,01
3. Барда – 20 т/га	0–20	89,61
	20–40	67,70
4. Барда – 30 т/га	0–20	93,75
	20–40	79,15
5. N ₉₀ P ₇₀ K ₁₇₀ – еквівалентно 10 т/га	0–20	81,08
	20–40	52,11

У контрольному варіанті (без добрив) інтенсивність розкладу у верхньому шарі становила 81,55%, а в нижньому – 51,40%, що відображає природний рівень активності ґрунтової мікробіоти в умовах відсутності удобрення.

Внесення барди в дозі 10 т/га зумовило незначне підвищення целюлолітичної активності: до 83,57% у шарі 0–20 см і до 53,01% у шарі 20–40 см. Аналогічний результат було отримано й у варіанті з мінеральним добривом (N₉₀P₇₀K₁₇₀), де показники становили 81,08 і 52,11% відповідно, що вказує на обмежений вплив традиційного мінерального удобрення на біологічну активність ґрунту.

Натомість за внесення барди в дозі 20 т/га зафіксоване суттєве зростання активності мікроорганізмів: інтенсивність розкладу становила 89,61% у верхньому шарі та 67,70% у нижньому, що свідчить про стимуляцію як поверхневої, так і глибинної

мікрофлори. Це дозволяє зробити висновок, що дана доза створює сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів-деструкторів завдяки підвищенню вмісту доступного вуглецю й органічних сполук у ґрунті.

Максимальні значення зафіксовано у варіанті з бардою 30 т/га: інтенсивність розкладу досягла 93,75% у шарі 0–20 см і 79,15% у шарі 20–40 см. Такий результат вказує на найвищу біологічну активність у ґрунті, зокрема інтенсивну роботу целюлолітичної мікробіоти, що має безпосередній зв'язок із процесами мінералізації органіки, утворенням гумусу та поліпшенням структури ґрунту.

Отже, результати дослідження підтверджують позитивний вплив мелясної барди на мікробіологічну активність ґрунту. Найбільш ефективною виявилася доза 30 т/га, проте з урахуванням екологічної доцільності та ризику вторинного засолення доза 20 т/га виглядає оптимальною для збалансова-

ного підвищення врожайності картоплі та покращення біологічного стану ґрунтового середовища. Підвищення целюлозолітичної активності свідчить про активізацію процесів розкладу органічної речовини, що є важливою передумовою відновлення ґрунтового здоров'я і стійкого функціонування агроєкосистеми.

Із результатів досліджень встановлено міцний лінійний взаємозв'язок між дозою внесення барди та целюлозолітичною активністю ґрунту, яку визначали за інтенсивністю розкладу лляного полотна у ґрунтових горизонтах (рисунк 2).

З підвищенням дози барди до 30 т/га відзначено зростання активності целюлозоруйнівної мікрофлори: від 81,55% (у контролі) до 93,75% у верхньому шарі ґрунту та від 51,40 до 79,15% у нижньому. Ці дані підтверджують, що внесення барди стимулює

розвиток мікроорганізмів-деструкторів. Коефіцієнт кореляції між дозою добрива та целюлозолітичною активністю у верхньому шарі становив $r = 0,984$, що також свідчить про дуже сильний зв'язок.

Зважаючи на те, що як урожайність картоплі, так і показник целюлозолітичної активності ґрунту мають сильний кореляційний зв'язок із дозуванням внесення добрив, під час проведення досліджень було встановлено кореляційний зв'язок урожайності картоплі та целюлозолітичної активності ґрунту як похідних від застосування ґрунтополіпшувальних заходів, це обчислення було проведено для наочної демонстрації взаємозв'язку позитивних агрономічних і біологічних наслідків (рис. 3).

Кореляція між урожайністю картоплі та целюлозолітичною активністю ґрунту, обчисленою за середнім значенням обох

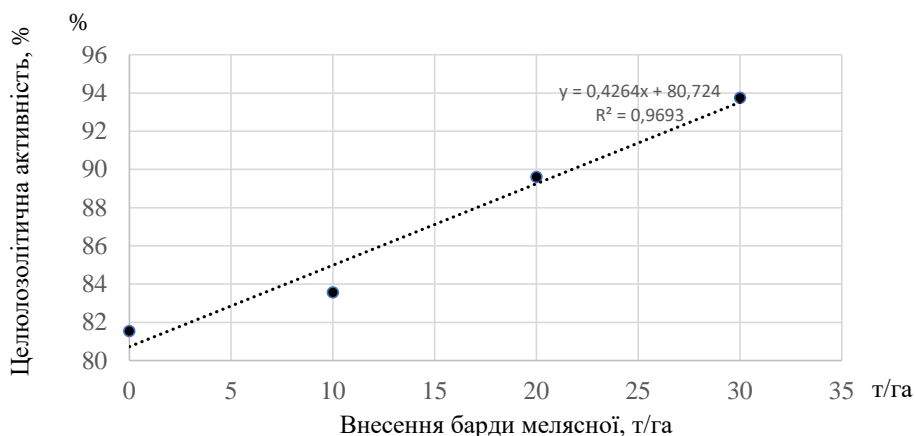


Рис. 2. Кореляція доз внесення барди мелясної з показником целюлозолітичної активності ґрунту

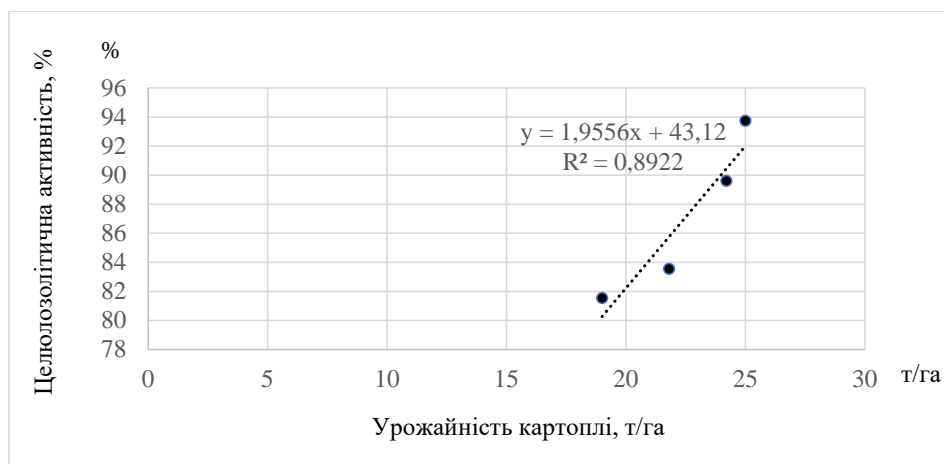


Рис. 3. Кореляція врожайності картоплі та показника целюлозолітичної активності ґрунту

шарів, є значною. Дослідження показали, що зі зростанням мікробіологічної активності ґрунту, зокрема целюлозолітичної – здатності мікроорганізмів розкласти целюлозу, суттєво підвищується урожайність картоплі. Це вказує на наявність прямого функціонального зв'язку між інтенсивністю біологічних процесів у ґрунтового середовищі та продуктивністю рослин. Така залежність є не лише теоретично обґрунтованою, а й практично доведеною.

Величина коефіцієнта кореляції між показниками врожайності картоплі та целюлозолітичної активності ґрунту становила $r = 0,944$, що є статистично достовірним результатом і свідчить про майже повну лінійну залежність між цими двома параметрами. Це означає, що зміни в мікробіологічній активності ґрунту практично автоматично відображаються на врожайності культури.

Такий високий рівень кореляції наочно демонструє ефективність використання мелясної барди як органічного добрива. Її застосування не лише сприяє активізації мікрофлори, здатної до розкладання органічних залишків, а й забезпечує стабільне підвищення врожайності картоплі. Отже, мелясна барда виконує подвійну функцію – агрохімічну (покращення живлення рослин) і біологічну (стимуляція біологічної активності ґрунту).

Отже, результати дослідження підтверджують доцільність і перспективність застосування органічних відходів, зокрема мелясної барди, як ефективного засобу для підвищення родючості ґрунтів і продуктивності сільськогосподарських культур.

Обговорення

У сучасних умовах змін клімату, зростання вартості мінеральних добрив і деградації ґрунтів, особливо в регіонах із легкими за гранулометричним складом ґрунтами, питання відновлення ґрунтової родючості та продуктивності сільськогосподарських культур набуває особливого значення. У цьому контексті актуальним є використання локальних органічних ресурсів, зокрема побічних продуктів спиртової промисловості – як-от барда мелясна. Результати нашого дослідження демонструють перспективність її застосування для удобрення картоплі сорту Беллароза на дерново-підзолистих ґрунтах Полісся.

Насамперед установлене підвищення врожайності картоплі за внесення барди в дозах 20–30 т/га узгоджується з резуль-

татами, наведеними у працях вітчизняних і зарубіжних авторів. Зокрема, барда сприяє поліпшенню фізико-хімічних властивостей ґрунту, що опосередковано впливає на біологічну активність і ріст рослин (Гракало та ін., 2021). Внесення барди підвищує активність ферментів ґрунту та збагачує його на доступний вуглець, фосфор і калій (Bartkowiak et al., 2022). У нашому дослідженні було зафіксовано чітку пряму залежність між дозою внесення барди та врожайністю ($r = 0,982$), що свідчить про високу ефективність цього органічного добрива.

Зростання целюлозолітичної активності мікрофлори, як маркера біологічного стану ґрунту, є важливим результатом. Даний показник є непрямим індикатором активності мікроорганізмів-деструкторів, які беруть участь у трансформації органічної речовини та гумусоутворенні. Найвищі значення інтенсивності розкладу льяного полотна (93,75% у верхньому горизонті) свідчать про суттєве посилення мікробіологічної діяльності. Це підтверджують міжнародні дослідження, що свідчать, що побічні продукти цукрової та спиртової промисловості можуть служити стимуляторами мікробіологічного життя у ґрунті, зокрема завдяки покращенню вуглецевого живлення мікробіоти (Usman et al., 2008).

Однак поряд із позитивними ефектами варто зважати й на потенційні ризики. Зокрема, у варіантах із дозою 30 т/га спостерігалася зростання електропровідності ґрунтового розчину, що свідчить про накопичення розчинних солей. Це може призводити до вторинного засолення, особливо в разі тривалого й надмірного використання барди. Подібні результати відображені у роботах закордонних науковців, де описано негативні наслідки безконтрольного внесення барди – погіршення структури ґрунту, зміна кислотно-лужного балансу, зниження врожайності (Christofolletti et al., 2013).

Іншою важливою особливістю є те, що внесення барди не лише впливає на агрономічні показники, а й формує функціональний ґрунтовий мікробіом. Ключовим показником «здоров'я ґрунту» є саме його мікробіологічна активність (Балюк і Трускавецький, 2025). У нашому дослідженні підтверджено, що активізація целюлозолітичної мікрофлори є надійним індикатором поліпшення біологічного стану ґрунту, а висока кореляція між біологічними та продуктивними показниками ($r = 0,995$) свідчить про їхню тісну взаємозалежність.

На особливу увагу заслуговує ефективність дози 20 т/га. За цього варіанту досягається баланс між підвищенням урожайності (на 27,3%), покращенням мікробіологічної активності й екологічною безпекою. Такий підхід відповідає принципам сталого землеробства, де важливу роль відіграє не лише врожай, а й довгострокове збереження ґрунтової екосистеми. Урахування екологічного навантаження та постійний моніторинг стану ґрунту мають стати обов'язковими під час використання таких добрив, як барда мелясна.

Окрім цього, використання побічних продуктів спиртової промисловості, як-от барда мелясна, у сільському господарстві відповідає сучасним тенденціям утилізації відходів (Тимошук і Дударев, 2020).

Отже, результати нашого дослідження підтверджують ефективність барди як доступного органічного добрива, що не лише підвищує продуктивність картоплі, але й активізує мікробіологічні процеси у ґрунті. Проте для її широкого застосування необхідно враховувати регіональні ґрунтово-кліматичні умови, наявність системи агромоніторингу та дотримання оптимальних дозувань.

Висновки

У результаті польових досліджень встановлено, що барда мелясна, як органічне добриво, позитивно впливає на продуктивність картоплі сорту Беллароза та біологічний стан дерново-підзолистого ґрунту.

Внесення барди в дозах 20–30 т/га сприяє істотному підвищенню біометричних показників бульб, зростанню врожайності до 25,0 т/га (приріст до контролю – 31,5%) і активізації целюлозолітичної мікрофлори, що виявляється у зростанні інтенсивності розкладу лляного полотна до 93,75% у верхньому горизонті ґрунту.

Доведено тісний функціональний зв'язок між дозою органічного добрива, урожайністю та мікробіологічною активністю ґрунту. Високі значення коефіцієнтів кореляції ($r = 0,944-0,984$) підтверджують взаємозалежність цих показників і свідчать про важливу роль мелясної барди як чинника регуляції біологічних процесів у дерново-підзолистому ґрунті.

Водночас зафіксовано, що застосування надвисокої дози (30 т/га) супроводжується підвищенням електропровідності ґрунту, що вказує на потенційний ризик вторинного засолення за тривалого використання. Тому доза 20 т/га визначена як оптимальна: вона забезпечує максимальний позитивний агрономічний ефект за умов збереження екологічної безпеки ґрунтового середовища.

Отримані результати мають як наукову новизну, оскільки встановлюють кількісні залежності між біологічною активністю ґрунту й урожайністю культури, так і практичну значущість – для розроблення систем органічного удобрення на Західному Поліссі з використанням місцевих ресурсів органічного походження.

Список використаної літератури

- Антипчук А.Ф., Піляшенко-Новохатний А.І., Євдокименко Т.М. Практикум з мікробіології. Київ : Університет «Україна», 2011. 156 с.
- Балюк С.А., Трускавецький Р.С. Автентичний аналіз і перспективи розвитку концепції «здоров'я ґрунту». *Вісник аграрної науки*. 2025. № 4 (865). С. 56–64.
- Гаврилюк В.А., Бортнік А.М., Августинович М.Б. Ефективність використання осаду стічних вод як добрива на дерново-підзолистих ґрунтах. *Агроекологічний журнал*, 2018. Вип. 1. С. 65–70.
- Семенюк А. Нормування якості ґрунту при впливі техногенних підприємств. *Аграрна наука та освіта Поділля*. 2017. С. 195–197.
- Сухенко Ю.Г., Серьогін О.О., Сухенко В.Ю., Рябоконт Н.В. Ресурсозберігаючі технології в харчових виробництвах. Київ : ЦП «Компринт», 2016. 338 с.
- Тимошук О.М., Дударев І.М. Огляд використання відходів у сільському господарстві. *Сільськогосподарські машини*. 2020. № 45. С. 103–110. DOI: 10.36910/asm.vi45.406.
- Тракало Т.О., Янюк Т.І., Левіщенко М.М. Дослідження сухої кукурудзяної після спиртової барди. *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI ст.* : матеріали 87-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, м. Київ, 15–16 квітня 2021 р. Київ : НУХТ, 2021. С. 160.
- Bartkowiak A., Lemanowicz J., Rydlewska M., Drabińska O., Ewert K. Enzymatic activity of soil after applications distillery stillage. *Agriculture*. 2022. № 12. P. 652. DOI: 10.3390/agriculture12050652.
- Christofolletti C.A., Escher J.P., Correia J.E., Marinho J.F.U., Fontanetti C.S. Sugarcane vinasse: environmental implications of its use. *Waste Management*. 2013. Vol. 33. № 12. P. 2752–2761.

Usman A., Rabie A., Gameh M.A.E. Effect of sugar industry wastes on K status and nutrient availability of a newly reclaimed loamy sandy soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2008. Vol. 54. № 6. P. 665–679.

References

Antypchuk, A.F., Pilyashenko-Novokhatnyi, A.I., & Yevdokymenko, T.M. (2011). *Praktykum z mikrobiologii* [Microbiology workshop]. Kyiv : Universytet "Ukraina" [in Ukrainian].

Baliuk, S.A., & Truskavetskyi, R.S. (2025). Avtentychnyi analiz i perspektyvy rozvytku kontseptsii "zdorov'ia gruntu" [Authentic analysis and development prospects of the "soil health" concept]. *Visnyk ahrarnoi nauky* [Bulletin of Agrarian Science], (4) 865, 56–64 [in Ukrainian].

Havryliuk, V.A., Bortnik, A.M., & Avhustynovych, M.B. (2018). Efektyvnist vykorystannia osadu stichnykh vod yak dobryva na dernovo-pidzolystrykh gruntakh [Efficiency of sewage sludge use as fertilizer on sod-podzolic soils]. *Ahroekolohichniy zhurnal* [Agroecological Journal], 1, 65–70 [in Ukrainian].

Semenyuk, A. (2017). Normuvannia yakosti gruntu pry vplyvi tekhnohenykh pidpriemstv [Regulation of soil quality under the influence of industrial enterprises]. *Ahrarna nauka ta osvita Podillia* [Agrarian Science and Education of Podillia], 195–197 [in Ukrainian].

Sukhenko, Y.H., Seriohin, O.O., Sukhenko, V.Y., & Riabokon, N.V. (2016). Resursozberihaiuchi tekhnologii u kharchovykh vyrobnytstvakh [Resource-saving technologies in food production]. Kyiv : TsP "Komprynt" [in Ukrainian].

Timoshchuk, O.M., & Dudarev, I.M. (2020). Ohliad vykorystannia vidkhodiv u silskomu hospodarstvi [Review of waste use in agriculture]. *Silskohospodarski mashyny* [Agricultural Machinery], 45, 103–110. <https://doi.org/10.36910/acm.vi45.406> [in Ukrainian].

Trakalo, T.O., Yaniuk, T.I., & Levyshchenko, M.M. (2021). Doslidzhennia sukhoyi kukurudzianoyi pislia spyrtovoi bardy [Study of dried corn after distillery stillage]. In *materialy 87 Mizhnarod. nauk. konf. molodykh uchenykh, aspirantiv i studentiv "Naukovi zdobutky molodi – vyrishenniu problem kharchuvannia liudstva u XXI stolitti"*, Kyiv, April 15–16, 2021, p. 160. Kyiv : NUFT [in Ukrainian].

Bartkowiak, A., Lemanowicz, J., Rydlewska, M., Drabińska, O., & Ewert, K. (2022). Enzymatic activity of soil after applications distillery stillage. *Agriculture*, 12 (652). <https://doi.org/10.3390/agriculture12050652> [in English].

Christofolletti, C.A., Escher, J.P., Correia, J.E., Marinho, J.F.U., & Fontanetti, C.S. (2013). *Sugarcane vinasse: Environmental implications of its use*. *Waste Management*, 33 (12), 2752–2761 [in English].

Usman, A., Rabie, A., & Gameh, M.A.E. (2008). Effect of sugar industry wastes on K status and nutrient availability of a newly reclaimed loamy sandy soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 54 (6), 665–679 [in English].

Отримано: 14.07.2025

Прийнято: 19.08.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 598.112.23:591.3

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.10>

АЛОМЕТРИЧНИЙ РІСТ І ФОРМУВАННЯ СТАТЕВОГО ДИМОРФІЗМУ В ОНТОГЕНЕЗІ СКЕЛЬНОЇ ЯЩІРКИ *DAREVSKIA LINDHOLMI* (SZCZERBAK, 1962)

В. М. Песков¹, І. О. Синявська², І. Б. Доценко³, Р. К. Романюк⁴

Рід скельних ящірок *Darevskia* є важливим модельним об'єктом вивчення процесів видоутворення в рептилій, зокрема як приклад ретикулярної еволюції. Цей рід включає не лише бісексуальні, але й партеногенетичні види. Його систематика та таксономія постійно ускладнюються, базуючись на результатах молекулярно-генетичних, морфологічних і екологічних досліджень.

У літературі є дуже нечисленні відомості про особливості зовнішньої морфології єдиного в українській фауні аборигенного бісексуального виду скельної ящірки – *D. lindholmi*. Зокрема, майже відсутні дані про її вікову мінливість, зміни розмірів і пропорцій тіла та його частин у різних вікових групах різностатевих особин. Вивчення цих питань має значення для методики формування та дослідження вибірок, оскільки очевидно, що вибірки з різним віковим і статевим складом можуть показувати різні результати щодо ознак зовнішньої морфології під час складання видових описів. Тому метою роботи стало вивчення особливостей росту, формування статевого диморфізму в онтогенезі *D. lindholmi*; з'ясування ефективності використання статистичного аналізу для корекції похибок у порівнянні вибірок з особин різного віку та статі.

Матеріалом для дослідження стали 43 особини *D. lindholmi* із Криму. Було використано 33 ознаки розмірів і пропорцій тварин. Дані обробляли за допомогою факторного та дискримінантного аналізів. Виявлено, що дискримінантний аналіз дозволяє достовірно віднести кожен особину до окремої статево-вікової групи та дає змогу формувати зіставні вибірки для будь-яких порівняльних описів. Мінливість морфометричних ознак в онтогенезі на 91,5% характеризується першими

¹ кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник
(Національний науково-природничий музей НАН України, м. Київ)
e-mail: vladimir.peskov53@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2389-6546

² кандидат біологічних наук, науковий співробітник
(Інститут зоології імені І.І. Шмальгаузена НАН України, м. Київ)
e-mail: irasinyavska@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7778-6254

³ кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник
(Національний науково-природничий музей НАН України, м. Київ)
e-mail: icoronella@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2127-1064

⁴ кандидат біологічних наук, доктор педагогічних наук, професор,
професор кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: romaniuk-r@zu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-6306-7427

двома головними компонентами. Перша становить 89,1% дисперсії, має високі факторні навантаження всіх ознак, що свідчить про їхню корельовану мінливість. Статеві відмінності за більшістю мірних ознак у ящірки Ліндгольма практично відсутні. За загальним розміром тіла самці більші за самок, проте, маючи майже однакові розміри тіла, мають більші абсолютні та відносні розміри голови та кінцівок. Зі збільшенням віку мінливість пропорцій тіла зростає. Вплив віку на мінливість лінійних розмірів тіла вищий, ніж на його пропорції.

Ключові слова: скельні ящірки, *Darevskia lindholmi*, зовнішня морфологія, вікові та статеві відмінності, видові ознаки, факторний та дискримінантний аналіз, вибірки.

ALLOMETRIC GROWTH AND THE FORMATION OF SEXUAL DIMORPHISM IN THE ONTOGENY OF THE ROCK LIZARD, DAREVSKIA LINDHOLMI (SZCZERBAK, 1962)

V. M. Peskov, I. A. Syniavska, I. B. Dotsenko, R. K. Romaniuk

The genus of rock lizards Darevskia is an important model object for studying speciation processes in reptiles, in particular as an example of reticulate evolution. This genus includes not only bisexual but also parthenogenetic species. Its systematics and taxonomy are constantly becoming more complex, based on the results of molecular genetic, morphological, and ecological studies.

There is very little information in the literature about the external morphology of the only aboriginal bisexual species of rock lizard in the Ukrainian fauna – D. lindholmi. In particular, there is almost no data on its age variability, changes in the size and proportions of the body and its parts in different age groups of heterosexual individuals. The study of these issues is important for the methodology of sample formation and research, since it is obvious that samples with different age and sex compositions may show different results regarding external morphological characteristics when compiling species descriptions. Therefore, the aim of this work was to study the characteristics of growth and the formation of sexual dimorphism in the ontogenesis of D. lindholmi and to determine the effectiveness of statistical analysis for correcting errors when comparing samples of individuals of different ages and sexes.

The material for the study was 43 individuals of D. lindholmi from Crimea. Thirty-three characteristics of the size and proportions of the animals were used. The data were processed using factor and discriminant analyses. It was found that discriminant analysis allows each individual to be reliably assigned to a specific sex-age group and enables the formation of comparable samples for any comparative descriptions. The variability of morphometric characteristics in ontogenesis is 91,5% characterized by the first two principal components. The first accounts for 89,1% of the variance and has high factor loadings for all traits, indicating their correlated variability. There are practically no sex differences in most measured traits in Lindholm's lizard. In terms of overall body size, males are larger than females, but with almost identical body sizes, they have larger absolute and relative head and limb sizes. With increasing age, the variability of body proportions increases. The influence of age on the variability of linear body dimensions is higher than on its proportions.

Key words: rock lizards, *Darevskia lindholmi*, external morphology, age and sex differences, species characteristics, factor and discriminant analysis, samples.

Вступ

Скельні ящірки вже понад 70 років є важливим модельним об'єктом для вивчення еволюції та процесів видоутворення в рептилій, зокрема як приклад сітчастої еволюції. Систематика й таксономічна структура роду скельних ящірок *Darevskia* Agribas, 1999 є досить складною і неперервно ускладнюється та поповнюється відкриттями й описами нових видів. Особливо це характерно в останні два десятиліття, коли відбувається зростання еволюційних філогенетичних досліджень з використанням молекулярно-генетичних методів, застосу-

вання їх у систематиці рептилій (що привело до її бурхливого розвитку та появи багатьох нових нижчих таксонів). Щодо роду *Darevskia* цей процес ускладнюється ще й тим, що рід включає не тільки двостатеві, бісексуальні, а й партеногенетичні види, які утворилися шляхом гібридизації близьких і симпатричних видів роду *Darevskia* у процесі еволюції. Це дозволило партеногенетичним скельним ящіркам утворити стійкі локальні популяції, зберегтися і розселитися у складних умовах гірських біотопів завдяки підвищеній ефективності розмноження, а також змінам моделі поведінки партено-

видів, що складаються майже виключно із самок, у бік зменшення агресивності в територіальних і репродуктивних відносинах.

Молекулярно-генетичні дослідження останніх років, здійснені за допомогою електрофорезу алозимів, вивчення мітохондріальної та ядерної ДНК (MacCulloch et al., 1995; Murphy et al., 1997; Fu et al., 1998; Fu et al., 2000; MacCulloch et al., 2000), інші, доводять, що партеновиди кавказьких скельних ящірок виникли в результаті гібридизації бісексуальних видів і розмножуються шляхом клонування. Аналіз мітохондріальної ДНК двох партеногенетичних видів *D. armeniaca* та *D. dahli*, які мають гібридне походження та спільного предка *D. mixta* (Tarkhnishvili et al., 2017), доводить, що зворотні схрещування та мутації є найбільш імовірними причинами генетичного розмаїття як між партеногенетичними формами, так і всередині них.

Деякі герпетологи (Ahmadzadeh et al., 2013) підкреслюють, що скельні ящірки роду *Darevskia* містять багато криптичних видів або видових комплексів, де висока загальна морфологічна схожість між видами поєднується з порівняно високою морфологічною мінливістю всередині популяцій. Це ще більше ускладнює систематику цього роду, для розмежування видів скельних ящірок, які поширені в північному Ірані, авторами було застосовано дослідження ядерних і мітохондріальних генів у поєднанні з екологічним моделюванням і аналізом морфологічних ознак тварин.

Загалом варто зазначити, що рід *Darevskia* Arribas, 1999 є одним із найбільш перспективних щодо дослідження еволюційних шляхів розвитку рептилій. Його філогенія та генетична структура становлять стійкий науковий інтерес, а систематика й таксономія залишаються не досить вивченими. В одній з найбільш відомих баз даних із систематики рептилій (The Reptile ..., 2025) рід *Darevskia* Arribas, 1999 налічує 42 види, а в базі Global Biodiversity Information Facility (GBIF, 2025) – 37 видів, в останній базі вид *D. lindholmi* наводиться двічі – за авторством (Lantz & Cyren, 1936) та (Szczerbak, 1962). Варто зазначити, що перші автори, хоча й дали назву виду, не наводять його опису, тоді як вітчизняний герпетолог М. Щербак, який скористався вже існуючою назвою, уперше дає його опис, тому саме його авторство треба визнати згідно із правилами Міжнародного кодексу зоологічної номенклатури (International ..., 1999).

У фауні України скельні ящірки роду *Darevskia* представлені одним аборигенним видом (*D. lindholmi*) та двома видами-вселенцями (*D. armeniaca* та *D. dahli*) (Список ..., 2025). Їх вивчення має великий науковий потенціал (експериментальний також) щодо дослідження походження рептилій, особливостей їхнього еволюційного розвитку, становлення та порівняльного аналізу популяцій двостатевих і партеногенетичних видів, питань порівняльної морфології плазунів тощо. Саме згідно з такими міркуваннями в 1963 р. видатні герпетологи М. Щербак та І. Даревський, скориставшись подібністю скелястих ландшафтів по берегах р. Тетерів із гірськими масивами Закавказзя, започаткували експеримент з інтродукції в с. Дениші Житомирської області партеногенетичного виду *Lacerta armeniaca* (нині рід *Darevskia*). Згодом виявилося, що випадково інтродуковано було ще один партеновид скельних ящірок – *D. dahli*. Історія цього експерименту, його результати, сучасний стан популяцій, інвазивний потенціал двох партеногенетичних видів-вселенців описано в попередніх роботах авторів (Доценко та ін., 2008–2009; Доценко, 2014; Гарбар та ін., 2022). Авторами також були виконано дослідження морфології нативного (кримського) двостатевого виду *D. lindholmi* (Peskov & Syniavska, 2016). У всіх цих роботах наведено огляди літератури з вивчення роду *Darevskia* та дані щодо зовнішньої морфології партеногенетичних і бісексуальних видів.

Про єдиний в українській герпетофауні нативний двостатевий вид скельних ящірок – *D. lindholmi* (Szczerbak, 1962), зокрема, про особливості його зовнішньої морфології та вікову мінливість, даних у літературі небагато. Вони майже вичерпуються видовими описами у джерелах, наведених в оглядах і списках літератури робіт, згаданих вище. В описах переважно містяться дані по фолідозу, що стосуються кількості, форми та пропорцій рогових щитків і лусок. Щодо розмірів і пропорцій тіла та його частин ящірки Ліндгольма, їх змін у різних вікових групах різної статі, даних дуже мало. Проте дослідження саме цих питань є важливим з погляду методів формування та вивчення вибірок, складання видових описів, оскільки зрозуміло, що різні за віковим і статевим складом вибірки показують різні результати під час дослідження зовнішньої морфології саме розмірних ознак. Статистичні ж методи дозволяють досто-

вірно віднести кожну особину до окремої статеві-вікової групи і, таким чином, мати змогу формувати зіставні вибірки в будь-яких порівняльних описах.

Тому метою роботи стало вивчення особливостей аллометричного росту та формування статеві диморфізму в онтогенезі скельної ящірки *D. Lindholmi*, з'ясування ефективності використання його результатів для порівняння і виявлення онтогенетичних відмінностей різних статеві-вікових груп ящірок.

Матеріал і методи

У роботі використано дані з морфометрії ящірки Ліндгольма – *D. lindholmi*, одержані в результаті опрацювання наукової колекції Відділу зоології Національного науково-природничого музею НАН України. Матеріал зібрано М. Щербак у період з 1956 по 1976 рр. та Є. Писанцем у 2003 р. у різних ділянках гірського Криму. Усього опрацьовано 43 екз., з яких 31 дорослих особин (15 самок, 16 самців), 4 напівдорослі самки ($L = 46,0-47,0$ мм) і 8 ювенільних ящірок без визначення статі ($L = 25,5-39,0$ мм) (табл. 1).

Виміри здійснено за 33 ознаками згідно зі схемою зовнішніх промірів, що зазвичай використовуються у вивченні ящірок. Список ознак наводиться в таблиці 2 разом зі значеннями факторних навантажень на перші три головні компоненти (далі – ГК). Проміри робилися з використанням штангенциркуля з точністю до 0,1 мм та стереомікроскопа МБС-9 за збільшення 1x8. Дані мінливості вимірюваних ознак опрацьовані з використанням факторного (Kim & Mueller, 1994) та дискримінантного (Клеска, 1980) аналізів. Порівняння

груп ящірок, попередньо сформованих за розміром, статтю та статевою зрілістю, здійснено із застосуванням тесту Крускала – Воліса (Kruskal – Wallis test) (Ostertagova et al., 2014). Розрахунки виконані за допомогою пакета “STATISTICA 6.0”.

Результати та їх обговорення

Розподілоособин за значеннями ГК 1 (табл. 2) відображає збільшення лінійних розмірів тіла ящірок в онтогенезі за всіма 33 морфометричними ознаками. Довжина тіла (L , мм) варіює від 25,5 мм у ювенільних особин до 63 мм у дорослих самців і до 65 мм – у дорослих самок.

ГК 2 (2,42%) має незначну долю залишкової дисперсії використаних ознак у досліджуваному матеріалі та малу величину факторних навантажень, які варіюють в інтервалі від -0,32 до 0,44 (див. табл. 2). Зважаючи на те, що кореляція довжини тіла з ГК 2 майже відсутня (0,03), робиться висновок, що дана компонента описує мінливість відносної величини деяких ознак, які характеризують зміну пропорцій різних частин тіла в онтогенезі *D. lindholmi*.

У ювенільних ящірок з довжиною тіла від 25,5 до 27 мм пропорції тіла майже не змінюються, у напівдорослих статевонезрілих ($L = 38,0-47,0$ мм), у дорослих статевозрілих ($L = 50,0-65,0$ мм) особин диференціація за пропорціями тіла помітно зростає. У частини дорослих самців (43,8%) і самок (60,0%), які мають позитивні значення ГК 2, відносна величина шести ознак (7, 9, 5, 6, 4 і 8)¹ зростає зі збільшенням значень ГК 2,

¹ Тут і далі в тексті номери ознак наведені в порядку збільшення їхніх факторних навантажень.

Таблиця 1

Матеріал дослідження

№ у колекції	Місце збору* (дані етикетки)	Дата	Кількість	Колектор
SR2043	Алуштинський р-н, заказник «Веселий шпиль».	3 травня 1959 р.	8	М. Щербак
SR2046/14031, SR2046/14032	Околиці с. Генеральське. Там само.	5 травня 1958 р. 13 липня 1958 р.	2 1	М. Щербак М. Щербак
SR162F	Феодосійський р-н, с. Громівка.	липень 1974 р.	12	М. Щербак
SR2100	Окол. Сонцегорська.	травень 1958 р.	8	М. Щербак
SR2081	Крим	1956–1959 рр.	3	М. Щербак
SR2101	Південний берег Криму.	1957 р.	2	М. Щербак
SR2075	Крим	1956 р.	1	М. Щербак
SR2089	Крим	–	2	М. Щербак
SR2094	Крим	–	3	М. Щербак
SR4127	Куйбишівський р-н	2003 р.	1	Є. Писанець

*Примітка. Збори проведено на території АР Крим, «–» – точна дата відбору невідома.

тоді як шести інших (33, 24, 27, 23, 22 і 10), навпаки, зменшується (табл. 3). Перша група ознак характеризує мінливість пропорцій тулуба (4–7) і хвоста (8, 9), друга – пропорцій голови (10) і кінцівок (22–24, 27, 33). У другій частини дорослих самців (56,2%) і самок (40,0%) з негативними значеннями ГК 2 відмічається протилежний характер мінливості пропорцій тіла. Зі збільшенням значень ГК 2 зменшується відносна величина ознак першої групи (7, 9, 5, 6, 4, 8) і збільшується другої (33, 24, 27, 23, 22 і 10).

Наведені вище дані свідчать про те, що з віком у ящірки Ліндгольма суттєво зро-

стає мінливість пропорцій тіла. Водночас вплив віку на мінливість лінійних розмірів тіла (Kruskal – Wallis test: $H = 18,29468$, $p = 0,0001$) вище, ніж на мінливість його пропорцій (Kruskal – Wallis test: $H = 7,185434$, $p = 0,0275$). Достовірних відмінностей між самцями і самками за лінійними розмірами (Kruskal – Wallis test: $H = 3,219048$, $p = 0,0728$) та пропорціями тіла (Kruskal – Wallis test: $H = 0,6857143$, $p = 0,4076$) не виявлено.

Усі основні статистичні показники варіаційного ряду (межі варіювання (min – max), середнє їх значення (M), а також середнє квадратичне відхилення (Sx) для вибірки

Таблиця 2

Факторні навантаження морфометричних ознак на перші три головні компоненти (ГК) у *D. lindholmi*

№	Морфометричні ознаки, мм	ГК 1	ГК 2	ГК 3
1	Загальна довжина тіла	-0,98	0,03	-0,03
2	Довжина тулуба	-0,95	0,06	-0,02
3	Довжина гленоацетобулярної відстані	-0,93	0,04	-0,03
4	Ширина тулуба на рівні грудної клітки	-0,93	0,19	-0,23
5	Висота тулуба на рівні грудної клітки	-0,94	0,23	-0,10
6	Ширина тулуба на рівні таза	-0,93	0,22	0,10
7	Висота тулуба на рівні таза	-0,85	0,44	0,07
8	Висота хвоста біля його основи	-0,97	0,10	-0,01
9	Ширина хвоста біля основи	-0,92	0,29	0,09
10	Довжина голови	-0,98	-0,12	-0,03
11	Відстань від кінчика носа до слухового отвору	-0,99	-0,09	-0,02
12	Ширина голови спереду слухових отворів	-0,98	0,05	0,01
13	Ширина пілеуса між 2–3 надорбітальними щитками	-0,96	0,03	-0,10
14	Відстань між куточками очей	-0,96	-0,01	-0,03
15	Відстань між ніздрями	-0,86	0,09	0,17
16	Максимальна висота голови	-0,97	0,06	0,04
17	Відстань від кінчика морди до переднього краю ока	-0,98	-0,03	-0,02
18	Відстань від переднього краю ока до слухового отвору	-0,98	-0,02	-0,04
19	Довжина ока	-0,90	-0,06	0,26
20	Вертикальний діаметр слухового отвору	-0,94	0,00	0,17
21	Відстань від кінчика морди до краю комірця	-0,98	-0,08	-0,07
22	Довжина передньої кінцівки	-0,97	-0,14	-0,01
23	Довжина плеча	-0,93	-0,18	-0,16
24	Довжина передпліччя	-0,91	-0,29	-0,21
25	Довжина кисті	-0,95	-0,05	0,07
26	Довжина 4-го пальця кисті	-0,94	-0,04	0,05
27	Довжина кігтя 4-го пальця кисті	-0,90	-0,25	0,26
28	Довжина задньої кінцівки	-0,98	-0,08	-0,06
29	Довжина стегна	-0,96	0,03	-0,05
30	Довжина гомілки	-0,93	-0,08	-0,21
31	Довжина ступні	-0,97	-0,01	0,05
32	Довжина 4-го пальця стопи	-0,95	0,01	-0,02
33	Довжина кігтя на 4-му пальці стопи	-0,87	-0,32	0,18
Загальна варіація (of total variance), %		89,06	2,42	1,40

Таблиця 3

Варіювання морфометричних ознак у дорослих самців і самок *D. lindholmi*

№	Males (n = 16)				Females (n = 15)			
	min	max	M	Sx	min	Max	M	Sx
1	51,0	63,0	57,58	3,892	50,0	65,0	57,18	5,093
2	32,0	41,0	36,58	2,720	31,0	44,0	37,26	3,904
3	23,0	32,0	27,23	2,644	23,5	33,0	27,92	3,154
4	5,5	8,3	6,87	0,869	5,2	8,8	6,88	1,136
5	4,8	7,3	6,21	0,707	4,8	8,0	6,19	1,054
6	6,0	8,1	7,08	0,616	5,3	9,0	7,38	1,187
7	4,0	7,4	5,75	0,995	4,9	7,5	6,13	0,894
8	5,0	6,3	5,60	0,433	4,4	6,4	5,44	0,644
9	3,9	5,4	4,69	0,489	3,1	5,5	4,46	0,776
10	12,7	15,3	14,27	0,911	11,9	15,4	13,66	1,127
11	13,1	16,0	14,79	0,999	12,1	15,8	14,05	1,187
12	7,0	9,9	8,56	0,802	6,4	9,8	8,19	1,036
13	5,0	6,8	5,90	0,621	5,1	6,7	5,80	0,486
14	4,3	5,8	5,07	0,541	4,2	5,5	4,89	0,417
15	1,6	2,0	1,85	0,138	1,5	2,1	1,78	0,186
16	5,1	7,1	5,99	0,645	4,5	7,0	5,79	0,799
17	5,0	6,6	5,79	0,543	4,5	6,5	5,69	0,600
18	4,9	6,8	5,76	0,584	4,3	6,6	5,60	0,688
19	2,0	2,7	2,34	0,221	2,0	2,5	2,27	0,167
20	2,0	2,6	2,18	0,177	1,8	2,4	2,08	0,163
21	18,5	23,0	20,92	1,552	17,0	22,0	19,80	1,461
22	17,3	23,7	20,56	1,943	16,4	22,0	19,26	1,899
23	4,7	7,3	6,14	0,723	5,2	6,7	5,94	0,458
24	4,0	6,4	5,34	0,682	4,4	5,9	5,02	0,485
25	7,3	10,6	9,08	0,922	7,2	9,8	8,52	0,845
26	5,5	7,9	6,82	0,760	5,6	8,2	6,66	0,811
27	1,2	1,8	1,46	0,192	1,1	1,7	1,41	0,201
28	28,4	36,4	32,43	2,712	27,5	36,1	31,36	2,643
29	8,0	12,2	10,30	1,227	8,1	12,0	9,92	1,243
30	6,3	8,3	7,23	0,722	5,4	8,4	6,82	0,859
31	13,3	17,4	15,31	1,210	13,0	17,1	14,85	1,312
32	9,8	12,7	11,32	0,924	9,4	13,0	11,07	1,148
33	1,2	2,2	1,82	0,337	1,4	2,5	1,86	0,347

дорослих самців (n = 16) і самок (n = 15) подано в таблиці 3.

Статеві відмінності за окремими ознаками. Довжина тіла (L, мм) у дослідженій вибірці варіює: від 25,5 мм (у ювенільних особин) до 63 мм (у дорослих самців) і до 65 мм (у дорослих самок). За різними літературними даними, довжина тіла в дорослих статевозрілих особин може сягати понад 70 мм (у самців 72,6 мм, у самок 71,2 мм).

Варіювання довжини тіла дорослих статевозрілих самок (CV = 8,91%) і самців (CV = 6,76%) майже однакове (див. табл. 3). За середніми значеннями довжини тіла й більшості (31–94%) інших ознак статеві відмін-

ності відсутні (t = 0,25–1,88; P > 0,05). Самці і самки достовірно відрізняються тільки за однією ознакою. Зокрема, відстань від кінчика морди до краю комірця (ознака 21 (див. табл. 2)) у самців (M_♂ = 20,92 мм) порівняно із самками (M_♀ = 19,80 мм) у середньому дещо більша (t = 2,07; P < 0,05).

Факторний аналіз морфологічного розмаїття ящірок за лінійними розмірами тіла проводили шляхом опрацювання матриці DE, яка містить інформацію про узагальнені відмінності між ними за лінійними розмірами тіла². Такий аналіз дозволяє не тільки

² Через значний об'єм самої матрицю DE в тексті статті ми не наводимо.

Таблиця 4

Коефіцієнти кореляції морфологічних дистанцій (DE) з головними компонентами

№ особин	Вік	Стать	L, мм	ГК 1	ГК 2
2–6	juvenis	–	25,5–33,0	0,877–0,952	0,278–0,460
7	?	♀	36,0	0,695	0,686
1, 8–12	subadultus	♀	38,0–47,0	-0,401–0,573	0,784–0,955
13–27	adultus	♀	50,0–65,0	-0,765 – -0,994	-0,229–0,629
28–43	adultus	♂	54,0–63,0	-0,916 – -0,992	-0,212–0,370
			Prp. Totl	79,84	18,11

Примітка: напівжирним шрифтом позначено статистично достовірні коефіцієнти кореляції.

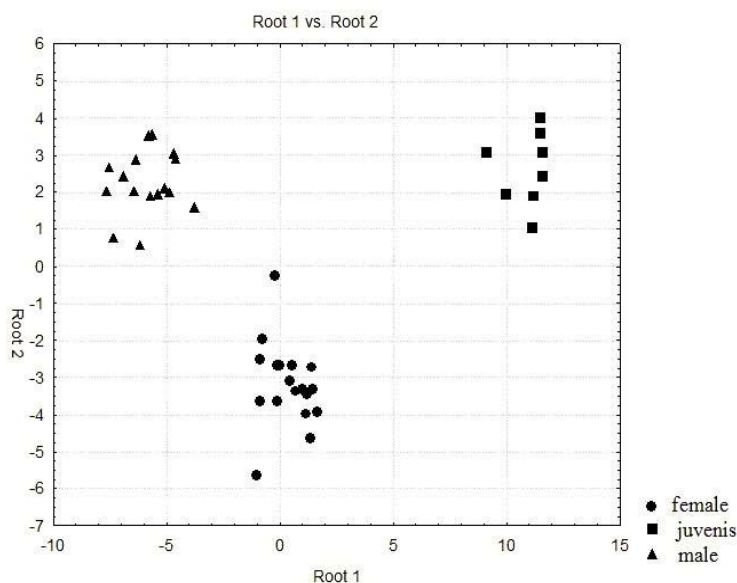


Рис. 1. Розподіл ювенільних (квадрат) і дорослих (самці – трикутник, самки – коло) ящірок Ліндгольма у просторі значень ГК 1 (Root 1) і ГК 2 (Root 2)

виявити розмірно-вікову неоднорідність досліджуваної вибірки, але й оцінити вірогідність правильного віднесення кожної особини до визначеної вікової групи (табл. 4).

Морфологічне розмаїття *D. lindholmi* досить повно (97,95%) характеризується ГК 1 і ГК 2 (див. табл. 4). Перша головна компонента (ГК1) відображає максимальні відмінності між ювенільними та дорослими особинами за лінійними розмірами тіла, маркуючи перших високими позитивними (0,877–0,952), других – негативними (самців – від -0,916 до -0,992; самок – від -0,765 до -0,994) кореляціями. ГК 2 маркує високими позитивними кореляціями (0,784–0,955) групу напівдорослих (subadultus) особин. Самка з $L = 36,0$ мм має практично однакові, але статистично недостовірні коефіцієнти кореляції з ГК 1 (0,695) і ГК 2 (0,686), тому однозначно віднести її до будь-якої вікової групи важко. За

результатами дискримінантного аналізу виявилось, що ця самка ($L = 36,0$ мм) за лінійними розмірами тіла майже у 2,3 рази ближче до напівдорослих особин ($SqMD = 181,98$), ніж до ювенільних ($SqMD = 425,40$), що дозволяє віднести її до вікової групи subadultus.

За результатами факторного аналізу, мінливість 33 морфометричних ознак у постембріональному розвитку ящірки Ліндгольма на 94% описується першими трьома головними компонентами. На ГК 1 припадає 89,1% від загальної дисперсії. Усі ознаки мають досить значну величину факторних навантажень на цей фактор, які варіюють від 0,85 (висота тулуба на рівні таза) до 0,99 (відстань від кінчика носа до слухового отвору). Це є свідченням високого рівня скорельованості в мінливості морфометричних ознак скельної ящірки, що зумовлено домінуванням ростового фактору.

Характер розподілу у просторі значень першої і другої головних компонент (рис. 1) свідчить, що мінімальні загальні розміри тіла характерні для ювенільних екземплярів, максимальні – для дорослих самців. Загальні розміри тіла самок більші порівняно з ювенільними, але помітно поступаються дорослим самцям.

Збільшення лінійних розмірів тіла в постнатальному розвитку скельної ящірки становить основу онтогенетичного тренду в мінливості морфометричних ознак.

Дискримінантний аналіз морфологічної диференціації проводився з метою оцінювання рівня і характеру узагальнених відмінностей ($SqMD$) між особинами різного віку та статі. На його основі можна стверджувати, що за лінійними розмірами тіла самці помітно крупніші за самок; найбільш дифе-

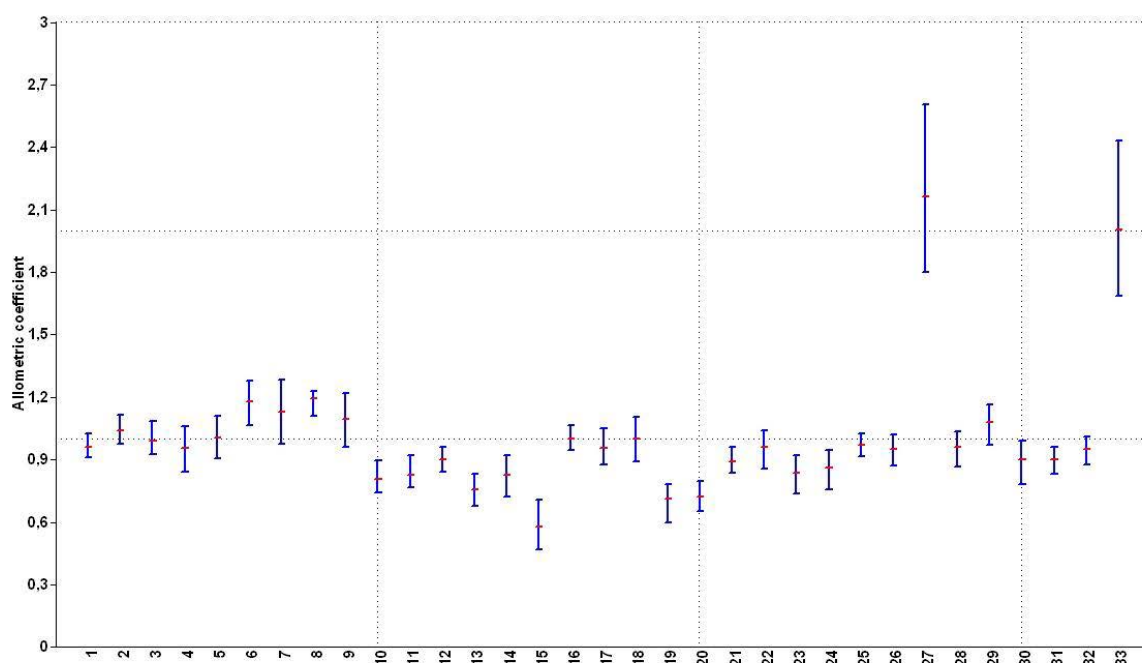


Рис. 2. Алометричний ріст 33 морфометричних ознак в онтогенезі ящірки Ліндгольма

ренційовані одне з одним ювенільні особини й дорослі самці (SqMD = 1 199,14), меншою мірою – дорослі самці і самки (SqMD = 66,35).

За результатами порівняння статевих відмінностей (див. табл. 2) доведено, що вони вірогідні за середніми значеннями довжини голови, відстані від кінчика носа до слухового отвору, вертикального діаметра слухового отвору, відстані від кінчика морди до краю комірця, довжини передньої кінцівки, довжини передпліччя, довжини кисті, довжини гомілки. Середні значення перелічених восьми ознак (10, 11, 20–25, 30) більші в самців, ніж у самок.

Друга компонента (2,42% від загальної дисперсії) має незначну величину факторних навантажень і описує два незалежні тренди деяких ознак, які лежать в основі формування пропорцій тіла ящірок.

По середніх значеннях довжини тіла й деяких інших ознак статеві відмінності не доведено. Вони вірогідні по довжині голови, відстані від кінчика носа до слухового отвору, вертикальному діаметру слухового отвору; відстані від кінчика морди до краю комірця, довжині передньої і задньої кінцівок, передпліччя, кисті, гомілки. Середні значення перелічених ознак більші у дорослих самців, ніж у самок.

Збільшення середніх значень алометричного росту більшості ознак у постембріогенезі самців і самок відбувається нерівномірно (рис. 2). Позитивна алометрія або ізометрія характерні для значної кількості ознак: ширина тулуба на рівні грудної клітки; ширина тулуба на рівні таза; висота тулуба на рівні таза; висота хвоста в основі; ширина хвоста в основі; довжина задньої кінцівки, а також кігтів на 4-му пальці кисті й стопи. Негативну алометрію відмічено для промірів голови (ознаки 10–15), довжини ока, вертикального діаметра слухового отвору; а також довжини передньої кінцівки, плеча й передпліччя, гомілки; стопи та 4-го пальця стопи. Інші морфометричні ознаки характеризуються ізометрією, позитивною або негативною алометрією, вірогідність яких не підтверджена. Формування морфологічних ознак, властивих дорослим ящіркам, відбувається приблизно однаково, вірогідні статеві відмінності відсутні.

Другий тренд мінливості – 6 ознак, які характеризують пропорції тулуба (ознаки 4–9), що збільшуються від мінімальних значень у самок до максимальних у самців.

Третій тренд – відносна довжина голови (ознака 10), передньої кінцівки (ознаки 22–24), а також кігтів на 4-х паль-

цях кисті та стопи (ознаки 27 і 33) збільшуються від мінімальних значень у самок до максимальних у самців (табл. 3).

Мінливість пропорцій тіла в молодих особин зовсім незначна, у дорослих особин індивідуальна мінливість і статеві відмінності визначають більш високий рівень диференціації ящірок за пропорціями тіла. Формування пропорцій тіла, властивих дорослим особинам, починається в самок за довжини тіла 50 мм, у самців – 55 мм.

Онтогенетичні канали самців і самок не цілком відокремлені один від одного, деяка частина самців (3 ос. – 18,7%) і самок (3 ос. – 16,6%) потрапляють у протилежний канал. Незважаючи на це, дискримінантний аналіз дозволяє повністю (100%) диференціювати кожну ящірку за віком та статтю. Величина відмінностей за віком більша, ніж за статтю, проте самці майже вдвічі більше відрізняються від молодих особин, ніж самки (SqMD = 304,08). Для самок характерні більш педоморфні пропорції тіла.

Висновки

Згідно з результатами проведеного дослідження, мінливість 33 морфометричних ознак в онтогенезі *D. lindholmi* на 91,5% характеризується першими двома головними компонентами (ГК 1 і ГК 2). ГК 1, на долю якої припадає 89,1% залишкової дисперсії, має високі факторні навантаження всіх ознак, що є свідченням їхньої корельованої мінливості.

Збільшення загальних лінійних розмірів тіла (абсолютних значень морфометричних

ознак) від ювенільних ($L = 25,5\text{--}33,0$ мм) до дорослих ($L = 50,0\text{--}65,0$ мм) особин відображає основний (онтогенетичний) тренд мінливості 33 ознак в онтогенезі *D. lindholmi*.

За загальними розмірами тіла (значення першої канонічної змінної) самці крупніші за самок. Самці ящірки Ліндгольма мають більші абсолютні і відносні розміри ознак голови та кінцівок порівняно із самками за майже однакових розмірів тіла, тоді як статеві відмінності за іншими ознаками в ящірки Ліндгольма практично відсутні.

У скельних ящірок Ліндгольма вікові узагальнені відмінності за сукупністю морфометричних ознак ($SqMD_M = 304,08$; $SqMD_F = 157,15$) значно перевищують статеві відмінності в дорослих ящірок ($SqMD = 73,34$).

Доведено, що з віком у ящірки Ліндгольма суттєво зростає мінливість пропорцій тіла. Вплив віку на мінливість лінійних розмірів тіла (Kruskal – Wallis test: $H = 18,29468$, $p = 0,0001$) вище, ніж на його пропорції (Kruskal – Wallis test: $H = 7,185434$, $p = 0,0275$).

З використанням дискримінантного аналізу було повністю (100%) диференційовано кожну особину скельної ящірки за віком і за статтю.

За лінійними розмірами тіла найбільш диференційовані одне з одним ювенільні особини й дорослі самці ($SqMD = 1\ 199,14$), найменше – дорослі самці та дорослі самки ($SqMD = 66,35$). Напівдорослі самки ближче до дорослих самок ($SqMD = 166,88$) і дорослих самців ($SqMD = 280,38$), ніж до ювенільних особин ($SqMD = 397,21$).

Список використаної літератури

Гарбар О., Романюк Р., Доценко І. Інвазійний потенціал *Darevskia armeniaca* (Mehely, 1909) в Україні: оцінка на основі ПС-моделювання екологічної ніші. *Український журнал природничих наук*. 2022. № 1. С. 44–59. <https://doi.org/10.35433/naturaljournal.1.2023.43-59>.

Доценко І. Історія експерименту з акліматизації скельних ящірок роду *Darevskia* Arribas, 1999 до каньйону в руслі річки Тетерів у Житомирській області. *Природниче краєзнавство Житомирщини – Волині. Історія та сучасність*. Житомир : Вид-во Марини Косенко, 2014. Вип. 49. С. 128–135.

Доценко І., Песков В., Миропольська М. Порівняльний аналіз зовнішньої морфології скельних ящірок роду *Darevskia*, що живуть на території України, та їх видова приналежність. *Збірник праць Зоологічного музею*. 2008–2009. № 40. С. 130–142.

Список плазунів України [Електронний ресурс]. URL: <https://surl.li/szhjgm> (дата звернення 20.06.2025).

Ahmadzadeh F., Flecks M., Carretero, M.A., Mozaffari, O., Bohme W. et al. Cryptic speciation patterns in Iranian rock lizard sun covered by integrative taxonomy. *PLoS One*. 2013. Vol. 8. № 12. P. 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080563>.

Fu J., MacCulloch R.D., Murphy R.W., Darevsky I.S., Kupriyanova L.A., Danielyan F. The parthenogenetic rock lizard *Lacerta unisexualis*: An example of limited genetic polymorphism. *Journal of Molecular Evolution*. 1998. Vol. 46. P. 127–130. <https://doi.org/10.1007/pl00013146>.

Fu J., McCulloch R.D., Murphy R.W., Darevsky I.S. Clonal variation in the caucasian rock lizard *Lacerta armeniaca* and its origin. *Amphibia-Reptilia*. 2000. Vol. 21. P. 83–89. <https://doi.org/10.1163/156853800507291>.

Global Biodiversity Information Facility. *Darevskia* Arribas, 1999. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.gbif.org/species/2468734> (дата звернення 10.07.2025).

International Code of the Zoological Nomenclature. Fourth Edition. The Natural History Museum – Cromwell Road – London – UK. The International Trust for Zoological Nomenclature. 1999 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.iczn.org/the-code/the-code-online/> (дата звернення 10.06.2025).

Kim J., Mueller C.W. Introduction to factor analysis: what it is and how to do it? In: *Factor analysis and related techniques. International handbooks of quantitative applications in the social sciences* / Editor M.S. Lewis-Beck. London : Sage Publications, 1994. Vol. 5. 75 p.

Klecka W.R. Discriminant Analysis. *Quantitative Applications in the Social Sciences*. London : Sage University Press, 1980. 71 p.

MacCulloch R.D., Murphy R.W., Kupriyanova L.A., Darevsky I.S. Clonal variation in the parthenogenetic rock lizard *Lacerta armeniaca*. *Genome*. 1995. № 38. P. 1057–1060. <https://doi.org/10.1139/g95-141>.

MacCulloch R.D., Fu Jinzhong, Darevsky I.S., Murphy R.W. Genetic evidence for species status of some Caucasian rock lizards in the *Darevskia saxicola* group. *Amphibia-Reptilia*. 2000. Vol. 21. P. 169–176. <https://doi.org/10.1163/156853800507354>.

Murphy R.W., Darevsky I.S., MacCulloch R.D. et al. Old age, multiple formations or genetic plasticity? Clonal diversity in the uniparental Caucasian rock lizard, *Lacertadahli*. *Genetica*. 1997. № 101. P. 125–130. <https://doi.org/10.1023/A:1018392603062>.

Ostertagova E., Ostertag O., Kovac J. Methodology and Application of the Kruskal-Wallis Test. *Applied of Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 611. P. 115–120.

Peskov V.M., Syniavska I.O. Age and sexual variation of morphometric traits in *Darevskia lindholmi*, Szczerbak, 1962 (Sauria, Lacertidae, Darevskia). *Збірник праць Зоологічного музею*. 2016. № 47. С. 3–11. [Електронний ресурс]. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zpzm_2016_47_3 (дата звернення 10.06.2025).

Tarkhnishvili D., Murtskhvaladze D., Anderson C.L. Coincidence of genotypes at two loci in two parthenogenetic rock lizards: how backcrosses might trigger adaptive speciation. *Biological Journal of the Linnean Society*. 2017. Vol. 121. P. 365–378. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blw046>.

The reptile database. *Darevskia* Arribas, 1999 [Електронний ресурс]. URL: https://reptile-database.reptarium.cz/advanced_search?taxon=Lacertidae&submit=Search (дата звернення 10.06.2025).

References

Harbar, O.V., Romanjuk, R.K., & Docenko, I.B. (2022). Invazijnyj potencial *Darevskia armeniaca* (Mehely, 1909) v Ukrajinі: ocinka na osnovi GIS-modeljuvannja ekologichnoji nishi [Invasion Potential of *Darevskia armeniaca* (Mehely, 1909) in Ukraine: Assessment Based on GIS- Modeling of the Ecological Niche]. *Ukrajinsjkyj zhurnal pryrodnychukh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 1, 44–59. <https://doi.org/10.35433/naturaljournal.1.2023.43-59> [in Ukrainian].

Dotcenko, I. (2014). Istorija eksperymentu z aklimatyzaciji skeljnykh jashhirok rodu *Darevskia* Arribas, 1999 do kanjjonu u rusli richky Teteriv u Zhytomyrskij oblasti [History of the experiment on acclimatization of rock lizards of the genus *Darevskia* Arribas, 1999 to the canyon in the Teteriv River bed in the Zhytomyr region]. *Pryrodnyche krajeznavstvo Zhytomyrshhyny – Volyni. Istorija ta suchasnistj. Zhytomyr. Vyd-vo Maryny Kosenko*, 49, 128–135 [in Ukrainian].

Dotcenko, I.B., Pjeskov, V.M., & Myropoljsjka, M.V. (2008–2009). Porivnjalnyj analiz zovnishnjoji morfologiji skeljnykh jashhirok rodu *Darevskia*, shho zhyvutj na terytoriji Ukrajinj, ta jikh vydova prynalezhnistj [Comparative analysis of the external morphology of rock lizards of the genus *Darevskia* living in Ukraine and their species affiliation]. *Zbirnyk pracj Zoologichnogho muzeju [Collection of works of the Zoological Museum]*, 40, 130–142 [in Ukrainian].

Spysok plazuniv Ukrajinj [List of reptiles in Ukraine]. [Electronic resource] URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B8%D1%81%D0%BE%D0%BA_%D0%BF%D0%B%D0%B0%D0%B7%D1%83%D0%BD%D1%96%D0%B2_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8 (access date 20.06.2025) [in Ukrainian].

Ahmadzadeh, F., Flecks, M., Carretero, M.A., Mozaffari, O., Bohme, W., et al. (2013). Cryptic speciation patterns in Iranian rock lizard sun covered by integrative taxonomy. *PLoS One*, 8 (12), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080563> [in English].

Fu, J., MacCulloch, R.D., Murphy, R.W., Darevsky, I.S., Kupriyanova, L.A., & Danielyan, F. (1998). The parthenogenetic rock lizard *Lacerta unisexualis*: An example of limited genetic polymorphism. *Journal of Molecular Evolution*, 46, 127–130. <https://doi.org/10.1007/pl00013146> [in English].

Fu, J., McCulloch, R.D., Murphy, R.W., & Darevsky, I.S. (2000). Clonal variation in the caucasian rock lizard *Lacerta armeniaca* and its origin. *Amphibia-Reptilia*, 21, 83–89. <https://doi.org/10.1163/156853800507291> [in English].

Global Biodiversity Information Facility. *Darevskia* Arribas, 1999. [Electronic resource] URL: <https://www.gbif.org/species/2468734> (access date 10.07.2025) [in English].

International Code of the Zoological Nomenclature (1999). Fourth Edition. The Natural History Museum – Cromwell Road – London – UK. The International Trust for Zoological Nomenclature. [Electronic resource] URL: <https://www.iczn.org/the-code/the-code-online/> (access date 10.06.2025) [in English].

Kim, J., & Mueller, C.W. (1994). Introduction to factor analysis: what it is and how to do it? In: Factor analysis and related techniques. International handbooks of quantitative applications in the social sciences. Editor M.S. Lewis-Beck. Sage Publications, London, 5 [in English].

Klecka, W.R. (1980). Discriminant Analysis. In: Quantitative Applications in the Social Sciences. Sage University Press, London [in English].

MacCulloch, R.D., Murphy, R.W., Kupriyanova, L.A., & Darevsky, I.S. (1995). Clonal variation in the parthenogenetic rock lizard *Lacerta armeniaca*. *Genome*, 38, 1057–1060. <https://doi.org/10.1139/g95-141> [in English].

MacCulloch, R.D., Fu Jinzhong, Darevsky, I.S., & Murphy, R.W. (2000). Genetic evidence for species status of some Caucasian rock lizards in the *Darevskia saxicola* group. *Amphibia-Reptilia*, 21, 169–176. <https://doi.org/10.1163/156853800507354> [in English].

Murphy, R.W., Darevsky, I.S., & MacCulloch, R.D., et al. (1997). Old age, multiple formations or genetic plasticity? Clonal diversity in the uniparental Caucasian rock lizard, *Lacertadahli*. *Genetica*, 101, 125–130. <https://doi.org/10.1023/A:1018392603062> [in English]

Ostertagova, E., Ostertag, O., & Kovac, J. (2014). Methodology and Application of the Kruskal-Wallis Test. *Applied of Mechanics and Materials*, 611, 115–120 [in English].

Peskov, V.M., & Syniavska, I.O. (2016). Age and sexual variation of morphometric traits in *Darevskia lindholmi*, Szczerbak, 1962 (Sauria, Lacertidae, Darevskia). *Zbirnyk pracj Zoolohichnoho muzeju* [Collection of works by the Zoological Museum], 47, 3–11. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zpzm_2016_47_3 [in English].

Tarkhnishvili, D., Murtskhvaladze, D., & Anderson, C.L. (2017). Coincidence of genotypes at two loci in two parthenogenetic rock lizards: how backcrosses might trigger adaptive speciation. *Biological Journal of the Linnean Society*, 121, 365–378. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blw046> [in English].

The reptile database. *Darevskia* Arribas, 1999. [Electronic resource] URL: https://reptile-database.reptarium.cz/advanced_search?taxon=Lacertidae&submit=Search (access date 10.06.2025) [in English].

Отримано: 21.07.2025

Прийнято: 29.08.2025

Опубліковано: 17.10.2025





ГЕОГРАФІЯ

УДК 911.3:502.74:338.48(477.82-25)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.11>

ПЕРСПЕКТИВИ РЕКРЕАЦІЙНО-ТУРИСТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПАМ'ЯТОК ПРИРОДИ ДУБЕНСЬКОГО РАЙОНУ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Т. П. Безсмертнюк¹

Актуальність дослідження зумовлена щораз більшим інтересом до екологічного туризму та необхідністю ефективного використання природно-рекреаційного потенціалу регіонів, зокрема Рівненської області. Аналіз можливостей рекреаційно-туристичного використання пам'яток природи Дубенського району є важливим кроком до формування стратегії сталого розвитку регіону. Метою дослідження є визначення перспектив рекреаційно-туристичного використання пам'яток природи Дубенського району Рівненської області. Для досягнення поставленої мети використовувалися такі методи дослідження, як аналіз, синтез, описовий, картографічний, статистичний, узагальнення, систематизація. Пам'ятки природи Дубенського району становлять 26,2% від загальної кількості природно-заповідних об'єктів території та 1,8% від усієї площі природно-заповідного фонду району. Ботанічні пам'ятки природи Дубенського району становлять 76,5% від загальної кількості пам'яток природи території та 75,7% від усієї площі пам'яток природи району. Незважаючи на наявність різних типів пам'яток природи, їх рекреаційно-туристичне використання залишається фрагментарним і переважно локальним, без інтегрованої концепції розвитку та належної інфраструктури. Дубенський район має значний потенціал для створення екологічних маршрутів і стежок, розвитку спеціалізованих видів туризму та залучення місцевого населення до туристичної діяльності. Перспективним є формування сучасної екотуристичної інфраструктури та ефектвної системи маркетингу, що сприятиме підвищенню привабливості території. Розвиток рекреаційно-туристичного використання пам'яток природи Дубенського району потребує комплексного підходу, що включає екологічні, економічні та соціальні аспекти. Наукова новизна результатів дослідження полягає в обґрунтуванні перспективних напрямів рекреаційно-туристичного використання пам'яток природи Дубенського району. Отримані результати можуть бути корисними як науково обґрунтована база для подальшого поглибленого розроблення регіональних стратегій та районних програм розвитку туризму в частині використання природно-рекреаційного потенціалу.

Ключові слова: пам'ятки природи, природно-антропогенні рекреаційно-туристичні ресурси, природно-заповідний фонд, рекреація, туризм, Дубенський район, Рівненська область.

¹ кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри готельно-ресторанної справи, туризму і рекреації
(Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк)
e-mail: beztaras@gmail.com
ORCID: 0000-0003-1580-6157

PROSPECTS FOR RECREATIONAL AND TOURIST USE OF NATURAL MONUMENTS OF THE DUBNO DISTRICT OF THE RIVNE REGION

T. P. Bezsmertniuk

The relevance of the study is due to the growing interest in ecotourism and the need to effectively use the natural and recreational potential of the regions, in particular, the Rivne region. Analysing the possibilities of recreational and tourist use of the natural monuments of the Dubno district is an important step towards formulating strategies for the sustainable development of the region. The aim of the study is to determine the prospects for recreational and tourist use of natural monuments in the Dubno district of the Rivne region. To achieve this goal, the following research methods were used: analysis, synthesis, descriptive, cartographic, statistical, generalisation, and systematisation. The natural monuments of the Dubno district account for 26.2% of the total number of nature reserves in the territory and 1.8% of the total area of the district's nature reserve fund. Botanical natural monuments in the Dubno district account for 76.5% of the total number of natural monuments in the territory and 75.7% of the total area of natural monuments in the district. Despite the presence of different types of natural monuments, their recreational and tourist use remains fragmented and mostly local, without an integrated development concept and proper infrastructure. Dubno district has significant potential for creating ecological routes and trails, developing specialised types of tourism, and engaging the local population in tourism activities. The development of a modern eco-tourism infrastructure and an effective marketing system is promising, which will help to increase the attractiveness of the territory. The development of recreational and tourist use of the natural monuments of the Dubno district requires a comprehensive approach that includes environmental, economic, and social aspects. The scientific novelty of the research results lies in the substantiation of promising directions of recreational and tourist use of natural monuments of the Dubno district. The results obtained can be useful as a scientifically sound basis for further in-depth development of regional strategies and district tourism development programmes in terms of the use of natural and recreational potential.

Key words: natural monument, natural and anthropogenic recreational and tourist resources, nature reserve fund, recreation, tourism, Dubno district, Rivne region.

Вступ

У сучасних умовах щораз більшого інтересу до екологічного та сталого туризму особливої актуальності набуває питання ефективного використання природно-рекреаційного потенціалу регіонів. Рекреаційно-туристичний потенціал природно-заповідного фонду (ПЗФ) Рівненської області залишається не досить реалізованим, попри наявність сприятливих природних передумов, історико-культурної спадщини та вигідного географічного положення.

Пам'ятки природи як складова частина природно-антропогенних рекреаційно-туристичних ресурсів Дубенського району Рівненської області мають не лише екологічну та наукову цінність, але й значні можливості для розвитку рекреаційно-туристичної діяльності. З огляду на теперішні світові тенденції до розвитку екологічного туризму та зростання зацікавленості до автентичних природних локацій детальний аналіз та обґрунтування перспектив рекреаційно-туристичного використання пам'яток природи є вкрай актуальним для розроблення науково обґрунтованих стратегій сталого розвитку регіону.

Науковці Я. В. Хаукеланд, П. Фредман та ін., досліджуючи перспективи туризму, заснованого на природі, зазначають, що природоорієнтовані види діяльності набувають усе більшого значення в туристичній індустрії. У спільній публікації визначено тенденції в природоорієнтованому туризмі з найбільшим комерційним потенціалом (Haukeland et al., 2023). Дослідження рекреаційного використання природоохоронних територій знаходимо в статті таких учених, як Хорхе Коста, Альберто Гомеш, Мартін Стоукс та Мігель Сарайва. Відзначається, що управління щораз більшою кількістю відвідувачів природоохоронних територій без шкоди для їх природоохоронних цілей є критично важливим завданням, яке вимагає повного розуміння того, як і коли відвідувачі використовують ці простори (Costa et al., 2024). Дослідження оптимізації рекреаційних послуг у межах природоохоронних територій, внеску природних цінностей, створеної інфраструктури та контекстуальних чинників у загальний рекреаційний попит на заповідні території зустрічаємо в публікації науковців Е. Хенгі, Дж. М. Роуз, А. Ардешірі, М. Ковач (Heagney et al., 2018).

Значний внесок у теоретико-методологічне підґрунтя зазначеної проблематики зробив О. О. Бейдик, який у своїй монографії (Бейдик, 2001) ґрунтовно розкрив сутність рекреаційно-туристських ресурсів, запропонував їх класифікацію та методику оцінювання. На рівні регіонального дослідження важливою є праця Т. П. Безсмертнюка і М. М. Мельнійчука (Безсмертнюк і Мельнійчук, 2018), в якій проаналізовано особливості рекреаційно-туристичного використання природно-заповідного фонду північно-західної України. Актуальні дані щодо оцінювання та рейтингування природно-антропогенних рекреаційно-туристичних ресурсів Рівненської області висвітлено в публікації П. В. Кучера та Л. В. Ільїна (Кучер і Ільїн, 2024). Разом із тим питання використання у сфері рекреації та туризму окремих категорій природно-заповідного фонду на рівні адміністративно-територіальних районів висвітлені недостатньо та потребують подальшого вивчення.

Метою дослідження є визначення перспектив рекреаційно-туристичного використання пам'яток природи Дубенського району Рівненської області. Для досягнення мети було поставлено такі завдання: проаналізувати забезпеченість району пам'ятками природи як складником природно-антропогенних рекреаційно-туристичних ресурсів; окреслити проблеми та перспективи рекреаційно-туристичного використання пам'яток природи Дубенського району Рівненської області.

Матеріал і методи

Для реалізації мети дослідження використовувалися матеріали Департаменту екології та природних ресурсів Рівненської обласної державної адміністрації, законодавчих і нормативно-правових актів, зокрема Закону України «Про природно-заповідний фонд України» та «Положення про рекреаційну діяльність у межах територій та об'єктів природно-заповідного фонду України», положення про пам'ятки природи (Про природно-заповідний ..., 2025; Про затвердження Положення ..., 2022). Для досягнення поставленої мети використовувалися такі методи дослідження, як аналіз, синтез, описовий, картографічний, статистичний, узагальнення, систематизація. Методика дослідження природно-антропогенних рекреаційно-туристичних ресурсів ґрунтується на використанні комплексу програмних засобів для аналізу статистич-

них даних щодо рівня забезпеченості адміністративно-територіальних одиниць України об'єктами природно-заповідного фонду (Бейдик, 2001). Як технологічний базис для створення картосхеми використовувалися картографічні дані «ArcGIS Online».

Результати та їх обговорення

Природно-антропогенні рекреаційні ресурси, за О. О. Бейдиком, є геосистемами, до складу яких належать як природні, так і антропогенні об'єкти, що використовуються в рекреаційно-туристичному господарстві, а саме національні природні парки, біосферні та природні заповідники, заказники, пам'ятки природи, регіональні ландшафтні парки, заповідні урочища, парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва, ботанічні сади, лісо-, гідро-, зоологічні, дендро-, лукопарки, печерні міста (Бейдик, 2001). Природно-антропогенні рекреаційно-туристські ресурси формуються переважно на базі територій і об'єктів природно-заповідного фонду, рекреаційний потенціал яких становить інтегровану систему природних і історико-культурних компонентів та їхніх властивостей. Ці ресурси використовуються або можуть бути використані в рекреаційній діяльності, слугуючи функціональною основою для реалізації рекреаційних процесів у межах територій з режимом охорони природного середовища.

Окремі унікальні природні утворення, що вирізняються особливою природоохоронною, науковою, естетичною, пізнавальною або культурною цінністю, набувають статусу пам'яток природи з метою їх збереження в природному стані. Надання статусу пам'яток природи здійснюється без вилучення земельних ділянок, водних та інших природних об'єктів із власності чи користування відповідних суб'єктів (Про природно-заповідний ..., 2025). Відповідно до чинного природоохоронного законодавства України, пам'ятки природи належать до об'єктів природно-заповідного фонду загальнодержавного або місцевого значення, які поряд з охоронною виконують також культурно-освітню функцію. Залежно від характеру об'єкта охорони пам'ятки природи поділяються на комплексні, ботанічні, зоологічні, гідрологічні та геологічні. У межах територій, оголошених пам'ятками природи, рекреаційна діяльність допускається лише за умови дотримання вимог охорони та збереження природного різноманіття. Зазначена діяльність має відповідати охоронним зобов'язанням, покладеним на

власників або користувачів земельних ділянок, водних та інших природних об'єктів, що входять до складу цих пам'яток.

У межах Дубенського району Рівненської області створена та існує мережа природно-заповідного фонду, до якої станом на 01.01.2025 року віднесено 65 територій та об'єктів загальною площею 4546,4732 га, що становить 1,38% від загальної площі району, в тому числі 2 об'єкти загальнодержавного значення загальною площею 41 га та 63 об'єкти місцевого значення площею 4505,4732 га (Заповідні ..., 2025). Природоохоронні території району належать до чотирьох категорій: пам'яток природи; заказників; заповідних урочищ; парків-пам'яток садово-паркового мистецтва. Геопросторовий розподіл забезпеченості території Дубенського району Рівненської області об'єктами природно-заповідного фонду відповідно до їх типів представлено на рис. 1.

У складі природно-заповідного фонду Дубенського району нараховується: 17 пам'яток природи загальною площею 81,5734 га (13 ботанічних, 1 зоологічна, 1 геологічна, 2 комплексні), у тому числі 2 пам'ятки природи загальнодержавного значення площею 50,2 га та 15 пам'яток природи місцевого значення площею 31,3734 га; 25 заказників загальною

площею 4160 га (1 лісовий, 7 гідрологічних, 9 ботанічних, 2 орнітологічних, 4 ентомологічних, 2 геологічних); 21 заповідне урочище загальною площею 263,9 га (17 лісових, 4 болотних); 2 парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва загальною площею 41 га. Два об'єкти мають загальнодержавне значення (ботанічна пам'ятка природи Урочище «Хвороща» та зоологічна пам'ятка природи Урочище «Олександрівка»), решта – місцевого значення (Заповідні ..., 2025). Пам'ятки природи Дубенського району становлять 26,2% від загальної кількості природно-заповідних об'єктів території та 1,8% від усієї площі природно-заповідного фонду району (табл. 1).

Ботанічні пам'ятки природи Дубенського району становлять 76,5% від загальної кількості пам'яток природи території та 75,7% від усієї площі пам'яток природи району (табл. 2).

Розташовані на території Дубенського району пам'ятки природи різних типів мають наукову, естетичну, пізнавальну та рекреаційну цінність.

Ботанічні пам'ятки природи створюють основу для розвитку екологічного, наукового, освітнього та рекреаційного туризму, планування ботанічних маршрутів.

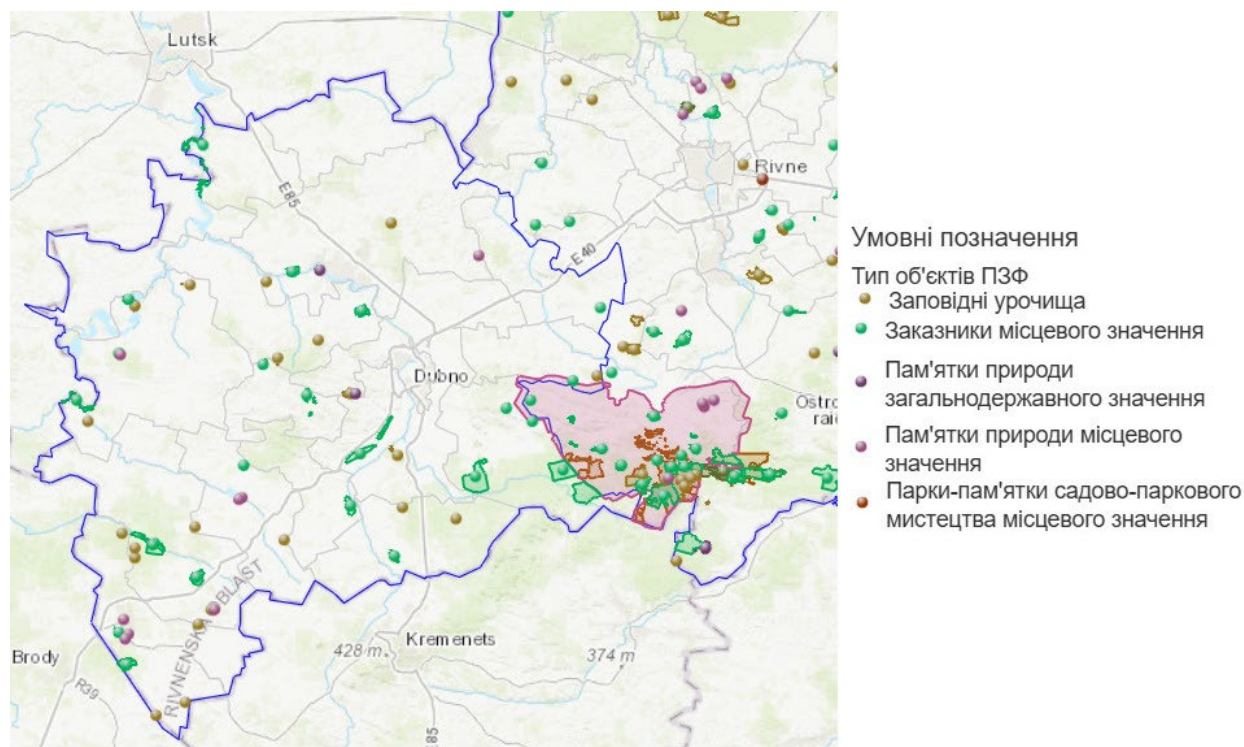


Рис. 1. Розташування об'єктів природно-заповідного фонду в межах Дубенського району Рівненської області за типами (Природно-заповідний ..., 2025)

Таблиця 1

Розподіл категорій природно-заповідного фонду Дубенського району Рівненської області

Категорії об'єктів ПЗФ	Кількість об'єктів категорії	Частка категорій ПЗФ за кількістю об'єктів, у %	Площа об'єктів категорії, га	Частка категорій ПЗФ за площею об'єктів, у %
Пам'ятки природи	17	26,2	81,5734	1,8
Заказники	25	38,5	4160	91,5
Заповідні урочища	21	32,3	263,9	5,8
Парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва	2	3	41	0,9
Усього	65	100	4546,4732	100

Джерело: складено автором за даними Департаменту екології та природних ресурсів Рівненської обласної державної адміністрації

Таблиця 2

Розподіл пам'яток природи Дубенського району Рівненської області за типами

Типи пам'яток природи	Кількість пам'яток природи	Частка типу пам'яток природи за кількістю об'єктів, у %	Площа пам'яток природи, га	Частка типу пам'яток природи за площею об'єктів, у %
Ботанічні	13	76,5	61,7734	75,7
Зоологічні	1	5,9	13	16
Геологічні	1	5,9	5,5	6,7
Комплексні	2	11,7	1,3	1,6
Усього	17	100	81,5734	100

Джерело: складено автором за даними Департаменту екології та природних ресурсів Рівненської обласної державної адміністрації

Прикладом є ботанічна пам'ятка природи загальнодержавного значення Урочище «Хвороща», розташована на східній околиці селища Млинів. Вона займає площу 37,2 га і була створена у 1975 році. Пам'ятка природи охороняє мальовничу ділянку лісового масиву в заплаві та на терасі річки Ікви, де переважають вільха чорна, ясен, граб, липа, а також рідкісна для Полісся вільха сіра. У підліску зустрічається дикий хміль, а у трав'янистому покриві – суниця лісова, медунка лікарська, квасениця, веснівка дволиста, конвалія травнева, а також коручка чемерникоподібна, що занесена до Червоної книги України. Відповідно до природоохоронного законодавства, територія пам'ятки природи може використовуватися з природоохоронною, науково-дослідною, освітньо-виховною, оздоровчою та іншою рекреаційною метою за умови дотримання вимог, що не суперечать меті її створення та визначеним завданням (Про затвердження Положення про ботанічну..., 2011).

Зоологічні пам'ятки природи сприяють розвитку екологічного, наукового, освіт-

нього, пригоспозначеного, орнітологічного туризму та фототуризму.

Єдина в межах Дубенського району зоологічна пам'ятка природи Урочище «Олександрівка» розміщується між населеними пунктами Тараканів і Великі Сади, поблизу території колишнього села Олександрівка. Загальна площа об'єкта становить 13 га. Статус зоологічної пам'ятки природи загальнодержавного значення надано в 1975 році. Зоологічна пам'ятка природи розташована на північно-східному схилі Повчанської височини. У верхній частині геологічного розрізу пагорба переважають лесоподібні суглинки, що є характерними для цього геоморфологічного утворення. Об'єкт охоплює ділянку вікового дубового лісу природного походження, що розміщується у верхній частині південного схилу, на сірих опідзолених ґрунтах. Деревостій формує переважно дуб звичайний, віком до 190 років і висотою до 28 м, а окремі екземпляри сягають 220–250 років. У складі деревостану також трапляються граб звичайний, липа серцелиста, осика, береза повисла. У підліску домі-

нують ліщина звичайна, свидина, крушина. Трав'яний покрив представлений, зокрема, копитняком європейським, медункою темною та іншими видами. Територія характеризується високим орнітологічним різноманіттям. У межах пам'ятки гніздяться представники типових лісових видів птахів, зокрема чапля, дятел, сойка, соловейко, синиця, повзик та інші. З безхребетних тут трапляються слимак виноградний, красуня блискуча, коник сірий лісовий, бронзівка золотиста, м'якотілака бура й інші представники ентомофауни (Олександрівка..., 2025; Про затвердження Положення про зоологічну..., 2011).

Геологічні пам'ятки природи створюють основу для розвитку геологічного туризму, екотуризму, пізнавального (екскурсійного) туризму та активного туризму.

Так, єдина на території Дубенського району геологічна пам'ятка природи місцевого значення «Боремельські яри», створена (оголошена) рішенням Рівненської обласної ради у 2024 році, площею 5,5 га є абразійним узбережжям Хрінницького водосховища в районі сіл Боремель і Набережне Боремельської територіальної громади (Про створення..., 2024).

Комплексні пам'ятки природи створюють основу для розвитку екологічного, наукового, освітнього, пригродницького, лікувально-оздоровчого та сільського зеленого туризму.

Прикладом може служити Парк «Зарічненський», який є комплексною пам'яткою природи місцевого значення, розташованою на території колишньої Іващуківської сільської ради, у дворі Козинського фізіопульмонологічного санаторію (село Козин). Пам'ятка природи має площу 0,6 га та отримала охоронний статус відповідно до рішення обласного виконавчого комітету № 33 від 28 лютого 1995 року; перебуває у віданні Іващуківської сільської ради. Зарічненський парк є історичним декоративним насадженням, закладеним графом Тарнавським. Частина території парку збереглася до сьогодні. Флористичне різноманіття парку представлено понад 40 видами дерев і чагарників, серед яких модрина європейська віком понад 100 років, а також ясен, сосна звичайна, ялина європейська, береза бородавчаста, тополя звичайна та інші (Парк, 2025).

На території Дубенського району розташовані численні пам'ятки природи місце-

вого значення, які можуть стати ключовими точками екологічних екскурсійних маршрутів, особливо в межах розвитку освітнього туризму, орієнтованого на студентську та шкільну молодь.

Суттєвою перевагою є наявність історико-архітектурної спадщини, зокрема Дубенського замку й Тараканівського форту, що в комплексі з природними об'єктами створює передумови для розвитку культурно-природничого туризму. Формування маршрутів змішаного типу, що включають як природоохоронні об'єкти, так й історичні пам'ятки, дає змогу значно розширити туристичну пропозицію району та забезпечити її привабливість для широкого кола відвідувачів. Важливим чинником є також розташування Дубенського району на перетині транспортних шляхів між містами Львів, Рівне та Луцьк, що полегшує логістику туристичних потоків.

Незважаючи на наявність різних типів пам'яток природи, їх рекреаційно-туристичне використання залишається фрагментарним і переважно локальним, без інтегрованої концепції розвитку та належної інфраструктури.

Поряд із наявним потенціалом існують і певні проблемні аспекти та виклики, які потребують науково обґрунтованих рішень: недостатня розвиненість інфраструктури; низький рівень поінформованості; кадровий потенціал; екологічні ризики (зростання відвідуваності може призвести до деградації природних комплексів без належного управління та контролю); відсутність системної стратегії розвитку рекреаційної сфери на локальному рівні. З огляду на це перспективним напрямом є розроблення інтегрованої програми розвитку рекреаційно-туристичного комплексу Дубенського району, що поєднувала б зусилля органів місцевого самоврядування, наукових установ, підприємств та громадських організацій.

Розвиток рекреаційно-туристичного використання пам'яток природи Дубенського району потребує комплексного підходу, що включає екологічні, економічні та соціальні аспекти.

Одним із перспективних напрямів рекреаційно-туристичного використання пам'яток природи Дубенського району є створення екологічних маршрутів і стежок. Це можуть бути тематичні пішохідні або велосипедні маршрути, які поєднуюватимуть кілька об'єктів природно-заповідного фонду. Такий підхід сприятиме диверсифікації туристичної

пропозиції регіону, залученню різних цільових груп туристів та розширенню сезонності відвідування. Важливими умовами реалізації цього напрямку є встановлення інформаційно-освітніх стендів, організація безпечних зон для відпочинку та спостереження за природою. Це дозволить не лише покращити туристичну інфраструктуру, а й мінімізувати антропогенний вплив на природні екосистеми, зберігаючи біорізноманіття та екологічну рівновагу території.

Суттєвим напрямом у розширенні рекреаційно-туристичного використання пам'яток природи Дубенського району є розвиток спеціалізованих видів туризму. Зокрема, йдеться про: екологічний туризм (із фокусом на споглядання ландшафтів, флори та фауни, відвідування природно-заповідних територій); освітній та науковий туризм, що передбачає організацію екскурсій для школярів, студентів, дослідників, природознавців; фототуризм (завдяки мальовничим природним локаціям, які підходять для пейзажного та макрознімання); оздоровчий туризм, що базується на природних факторах, які мають терапевтичний ефект.

Одним із ключових напрямів розвитку рекреаційно-туристичного потенціалу пам'яток природи Дубенського району є створення сучасної екотуристичної інфраструктури, яка сприятиме не лише підвищенню рівня комфорту для туристів, а й забезпечить мінімальний вплив на довкілля, відповідаючи принципам сталого розвитку. Крім того, вона може стати стимулом для залучення інвестицій і розвитку малого бізнесу в сільських громадах, що мають із пам'ятками природи.

Важливим напрямом ефективного використання пам'яток природи Дубенського району в рекреаційно-туристичних цілях є активне залучення місцевих громад до туристичної діяльності. Такий підхід дозволяє формувати почуття відповідальності за збереження природної спадщини серед населення, досягти балансу між туристичним розвитком і потребами місцевого середовища.

Одним із важливих напрямів розвитку рекреаційно-туристичного використання пам'яток природи Дубенського району є формування ефективної системи маркетингу та промоції. У сучасних умовах конкуренції між туристичними регіонами саме якісна інформаційна підтримка відіграє ключову роль у формуванні позитивного іміджу території та залученні цільової

аудиторії. Ефективна маркетингова стратегія повинна включати створення візуально привабливих інформаційних матеріалів (буклети, карти, відеоролики), розроблення функціональних вебсайтів і мобільних застосунків, які міститимуть інформацію про пам'ятки природи та маршрути, активне використання соціальних медіа для взаємодії з туристами та популяризації об'єктів. Такі дії дозволять не лише збільшити потік відвідувачів, а й сформувати стійкий інтерес до Дубенщини як екологічно відповідального туристичного регіону.

Висновки

У Дубенському районі Рівненської області сформовано мережу природно-заповідного фонду, яка включає 65 об'єктів різних категорій. Значну частину становлять пам'ятки природи, серед яких переважають ботанічні об'єкти, що є основою для розвитку екологічного, освітнього та наукового туризму. Важливу роль також відіграють зоологічна, геологічна та комплексні пам'ятки, що мають значний потенціал для розвитку різноманітних видів спеціалізованого туризму. Таким чином, пам'ятки природи району поєднують наукову, пізнавальну та рекреаційну цінність і є важливим ресурсом для сталого туристичного розвитку.

Рекреаційно-туристичне використання пам'яток природи Дубенського району наразі характеризується фрагментарністю й обмежується слабкою інфраструктурою та відсутністю цілісної стратегії розвитку. До основних проблем належать низький рівень поінформованості та екологічні ризики, пов'язані з неконтрольованим туризмом. Водночас район має значний потенціал для створення екологічних маршрутів та стежок, розвитку спеціалізованих видів туризму та залучення місцевого населення до туристичної діяльності. Перспективним є формування сучасної екотуристичної інфраструктури та ефективної системи маркетингу, що сприятиме підвищенню привабливості території. Комплексний підхід із залученням громади, бізнесу та науковців дозволить забезпечити сталий розвиток туризму та зберегти природне середовище Дубенщини.

Перспективи рекреаційно-туристичного використання пам'яток природи Дубенського району є значними і потребують системного підходу. Для реалізації цього потенціалу необхідно: розробити Програму розвитку туризму в Дубенському районі, що включатиме детальний аналіз усіх пам'яток

природи, їх категоризацію за туристичною привабливістю та розроблення конкретних проєктів; створити систему моніторингу рекреаційного навантаження на природні об'єкти з метою запобігання їх деградації та забезпечення сталого використання; залучати інвестиції для розвитку сучасної та екологічно відповідальної туристичної інфраструктури; проводити освітні програми для місцевого населення та суб'єктів туристичної

діяльності з питань сталого туризму та охорони природи; сприяти міжнародній співпраці для обміну досвідом та залучення міжнародних проєктів з розвитку екологічного туризму. Комплексна реалізація зазначених заходів дозволить Дубенському району стати привабливою та конкурентоспроможною дестинацією на туристичній мапі України, забезпечуючи при цьому збереження природної спадщини для майбутніх поколінь.

Список використаної літератури

Безсмертнюк Т.П., Мельничук М.М. Туристсько-рекреаційне використання природно-заповідного фонду північно-західної України : монографія. Луцьк : ПП Іванюк В.П., 2018. 168 с.

Бейдик О.О. Рекреаційно-туристські ресурси України: методологія та методика аналізу, термінологія, районування : монографія. Київ : Видавничий центр КНУ ім. Тараса Шевченка, 2001. 395 с.

Заповідні об'єкти Рівненщини. Природно-заповідний фонд області в розрізі районів. *Департамент екології та природних ресурсів Рівненської облдержадміністрації*. [Електронний ресурс] URL: <https://www.ecoivne.gov.ua/reserve/?sid=661> (дата звернення: 21.07.2025).

Кучер П.В., Ільїн Л.В. Природно-антропогенні рекреаційно-туристичні ресурси Рівненської області: оцінювання, рейтингування. *Географічний часопис Волинського національного університету імені Лесі Українки*. 2024. № 3(3). С. 88–94. <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2024.3.10>.

Олександрівка (пам'ятка природи). *Рівненщина. Rivne tourist region*. [Електронний ресурс] URL: <https://rivne.travel/locations/oleksandrivka-pamatka-prirodi> (дата звернення: 21.07.2025).

Парк «Зарічненський». *Рівненщина. Rivne tourist region*. [Електронний ресурс] URL: <https://rivne.travel/locations/park-zaricnenskij> (дата звернення: 24.07.2025).

Природно-заповідний фонд Рівненської області в розрізі територіальних громад. *Природно-заповідний фонд України*. [Електронний ресурс] URL: <https://pzf.land.kiev.ua/pzf-obl-17.html> (дата звернення: 21.07.2025).

Про затвердження Положення про ботанічну пам'ятку природи загальнодержавного значення Урочище «Хвороща» : Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 21.11.2011 р. № 463 / Верховна Рада України. [Електронний ресурс] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0463737-11#Text> (дата звернення: 24.07.2025).

Про затвердження Положення про зоологічну пам'ятку природи загальнодержавного значення «Урочище «Олександрівка» : Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 28.11.2011 р. № 480 / Верховна Рада України. [Електронний ресурс] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0480737-11#Text> (дата звернення: 24.07.2025).

Про затвердження Положення про рекреаційну діяльність у межах територій та об'єктів природно-заповідного фонду України : Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 26.07.2022 р. № 256 / Верховна Рада України. [Електронний ресурс] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1043-22#Text> (дата звернення: 21.07.2025).

Про природно-заповідний фонд України : Закон України від 16.06.1992 р. № 2456-XII. Дата оновлення : 04.04.2025 / Верховна Рада України. [Електронний ресурс] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12#Text> (дата звернення: 21.07.2025).

Про створення пам'яток природи місцевого значення : Рішення Рівненської обласної ради від 16.02.2024 р. № 869 / Рівненська обласна рада. [Електронний ресурс] URL: <https://ror.gov.ua/rishennya-oblasnoyi-radi-8-sklikannya/869-pro-stvorennnya-pamyatok-prirodni-miscevogo-znachennya-1708521672> (дата звернення: 24.07.2025).

Costa J., Gomes A., Stokes M., Saraiva M. Recreational use of protected areas: spatiotemporal insights from the Wikiloc mobile app. *Current Issues in Tourism*. 2024. Volume 27, Issue 22. Pp. 3978–3998. <https://doi.org/10.1080/13683500.2024.2329278>.

Haukeland J. V., Fredman P., Tyrväinen L., Siegrist D., Lindberg K. Prospects for nature-based tourism: identifying trends with commercial potential. *Journal of Ecotourism*. 2023. Pp. 1–18. <https://doi.org/10.1080/14724049.2023.2178444>.

Heagney E. C., Rose J. M., Ardeshiri A., Kovač M. Optimising recreation services from protected areas – Understanding the role of natural values, built infrastructure and contextual factors. *Ecosystem Services*. 2018. Volume 31, Part C. Pp. 358–370. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.10.007>.

References

Bezsmertniuk, T.P., & Melniichuk, M.M. (2018). Turystsko-rekreaciine vykorystannia pryrodno-zapovidnogo fondu pivnichno-zakhidnoi Ukrainy [Tourist and recreational use of the nature reserve fund of north-western Ukraine]. Lutsk : PE Ivanyuk V. P. [in Ukrainian].

Beidyk, O.O. (2011). Rekreatsiino-turystski resursy Ukrainy: metodolohiia ta metodyka analizu, terminolohiia, raionuvannia [Recreational and tourist resources of Ukraine: methodology and methods of analysis, terminology, zoning]. Kyiv : Vydavnychi tseentr KNU im. Tarasa Shevchenka [in Ukrainian].

Zapovidni objekty Rivnenshchyny. Pryrodno-zapovidnyi fond oblasti v rozrizi raioniv. Departament ekolohii ta pryrodnykh resursiv Rivnenskoï oblderzhadministratsii [Protected areas of Rivne region. The nature reserve fund of the region by districts. Department of Ecology and Natural Resources of Rivne Regional State Administration]. [Electronic resource]. URL: <https://www.ecorivne.gov.ua/reserve/?sid=661> (access date 21.07.2025) [in Ukrainian].

Kucher, P.V., & Ilyin, L.V. (2024). Pryrodno-antropohenni rekreatsiino-turystychni resursy Rivnenskoï oblasti: otsiniuvannia, reitynhuvannia [Natural and anthropogenic recreational and tourist resources of Rivne region: assessment, rating]. *Heohrafichnyi chasopys Volynskoho natsionalnogo universytetu imeni Lesi Ukrainky* [Geographical Journal of Lesya Ukrainka Volyn National University], 3(3), 88–94. <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2024.3.10> [in Ukrainian].

Oleksandrivka (pamiatka pryrody). Rivnenshchyna. Rivne tourist region [Oleksandrivka (a natural monument). Rivne region. Rivne tourist region]. [Electronic resource]. URL: <https://rivne.travel/locations/oleksandrivka-pamiatka-prirody> (access date 21.07.2025) [in Ukrainian].

Park “Zarichnenskyi”. Rivnenshchyna. Rivne tourist region [Zarichnenskyi Park. Rivne region. Rivne tourist region]. [Electronic resource]. URL: <https://rivne.travel/locations/park-zarichnenskij> (access date 24.07.2025) [in Ukrainian].

Pryrodno-zapovidnyi fond Rivnenskoï oblasti v rozrizi terytorialnykh hromad. Pryrodno-zapovidnyi fond Ukrainy [The nature reserve fund of Rivne region by territorial communities. Nature Reserve Fund of Ukraine]. [Electronic resource]. URL: <https://pzf.land.kiev.ua/pzf-obl-17.html> (access date 21.07.2025) [in Ukrainian].

Pro zatverdzhennia Polozhennia pro botanichnu pamiatku pryrody zahalnodержavnogo znachennia Urochyshche “Khvoroshcha” : Nakaz Ministerstva ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy vid 21.11.2011 r. № 463 / Verkhovna Rada Ukrainy [On approval of the Regulation on the botanical natural monument of national importance ‘Khvoroshcha’ tract: Order of the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine dated 21.11.2011 No. 463 / Verkhovna Rada of Ukraine]. [Electronic resource]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0463737-11#Text> (access date 24.07.2025) [in Ukrainian].

Pro zatverdzhennia Polozhennia pro zoolohichnu pamiatku pryrody zahalnodержavnogo znachennia “Urochyshche “Oleksandrivka” : Nakaz Ministerstva ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy vid 28.11.2011 r. № 480 / Verkhovna Rada Ukrainy [On approval of the Regulation on the zoological natural monument of national importance ‘Oleksandrivka tract’: Order of the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine of 28.11.2011 No. 480 / Verkhovna Rada of Ukraine]. [Electronic resource]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0480737-11#Text> (access date 24.07.2025) [in Ukrainian].

Pro zatverdzhennia Polozhennia pro rekreatsiinu diialnist u mezhakh terytorii ta obektiv pryrodno-zapovidnogo fondu Ukrainy : Nakaz Ministerstva zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy vid 26.07.2022 r. # 256 / Verkhovna Rada Ukrainy [On Approval of the Regulation on Recreational Activities within the Territories and Objects of the Nature Reserve Fund of Ukraine : Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine of 26.07.2022 No. 256 / Verkhovna Rada of Ukraine]. [Electronic resource]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1043-22#Text> (access date 21.07.2025) [in Ukrainian].

Pro pryrodno-zapovidnyi fond Ukrainy : Zakon Ukrainy vid 16.06.1992 r. # 2456-KhII. Data onovlennia : 04.04.2025 / Verkhovna Rada Ukrainy [On the Nature Reserve Fund of Ukraine: Law of Ukraine of 16.06.1992, No. 2456-XII. Date of update: 04.04.2025 / Verkhovna Rada of

Ukraine]. [Electronic resource]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12#Text> (access date 14.07.2024) [in Ukrainian].

Pro stvorennia pamiatok pryrody mistsevoho znachennia : Rishennia Rivnenskoï oblasnoi rady vid 16.02.2024 r. № 869 / Rivnenska oblasna rada [On the creation of natural monuments of local importance: Decision of the Rivne Regional Council of 16.02.2024 No. 869 / Rivne Regional Council]. [Electronic resource]. URL: <https://ror.gov.ua/rishennya-oblasnoyi-radi-8-sklikannya/869-pro-stvorennia-pamyatok-prirodi-miscevogo-znachennya-1708521672> (access date 24.07.2025) [in Ukrainian].

Costa, J., Gomes, A., Stokes, M., & Saraiva, M. (2024). Recreational use of protected areas: spatiotemporal insights from the Wikiloc mobile app. *Current Issues in Tourism*, 27(22), 3978–3998. <https://doi.org/10.1080/13683500.2024.2329278> [in English].

Haukeland, J.V., Fredman, P., Tyrväinen, L., Siegrist, D., & Lindberg, K. (2023). Prospects for nature-based tourism: identifying trends with commercial potential. *Journal of Ecotourism*, 1–18. <https://doi.org/10.1080/14724049.2023.2178444> [in English].

Heagney, E.C., Rose, J.M., Ardeshiri, A. & Kovač, M. (2018). Optimising recreation services from protected areas – Understanding the role of natural values, built infrastructure and contextual factors. *Ecosystem Services*, 31 (C), 358–370. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.10.007> [in English].

Отримано: 27.07.2025
Прийнято: 21.08.2025
Опубліковано: 17.10.2025





УДК 911.3

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.12>

ГЕОГРАФІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОШИРЕННЯ АНТРОПОНІМІВ ЗАХІДНИХ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ

І. В. Захарчук¹

Метою дослідження є виявлення геокультурних закономірностей розподілу прізвищ та аналіз впливу просторових факторів на морфологію прізвищ. Здійснено детальний географічний аналіз поширення антропонімів (прізвищ) у межах семи західноукраїнських областей: Волинської, Рівненської, Львівської, Тернопільської, Івано-Франківської, Закарпатської та Чернівецької. Західні регіони України розглядаються як неоднорідний простір із різноманітними факторами формування прізвищ: історико-географічними, соціальними тощо. Дослідження базуються на масиві понад 20 тисяч унікальних прізвищ, зібраних із відкритих джерел – демографічних реєстрів, електронних картографічних сервісів, архівних документів та краєзнавчих словників.

У статті відображається чітка геопросторова та культурна локалізація багатьох прізвищ, що свідчить про їх географічні фактори формування. Виявлено кілька етнокультурних клас-терів антропонімів, наприклад, у Закарпатті переважають прізвища угорського походження, в Чернівецькій – прізвища з румунськими коренями, які формують окремі антропонімні зони. Дослідження підтвердило вплив географічних чинників на морфологію прізвищ, серед яких: у різних історико-географічних краях та землях західних областей України домінують різні структурні типи прізвищ (патронімічні форми, топонімічні прізвища тощо).

Отримані результати поглиблюють розуміння геокультурної ідентичності населення західних регіонів України та мають значення для подальших географічних досліджень. Зокрема, запропонований підхід до вивчення антропонімів може доповнити напрацювання культурної топоніміки та сприяти міждисциплінарним дослідженням у галузі етногеографії та культурної спадщини.

Ключові слова: антропонімія, перцепційна географія, просторовий аналіз, історико-географічні землі, лінгвогеографічне різноманіття.

GEOGRAPHICAL FEATURES OF THE DISTRIBUTION OF ANTHROPNYMS OF WESTERN REGIONS OF UKRAINE

I. V. Zakharchuk

The aim of this study is to identify the geocultural patterns in the distribution of surnames and to analyze the influence of spatial factors on the morphology of surnames. A detailed geographical analysis of the distribution of anthroponyms (surnames) was conducted within seven regions of Western Ukraine:

¹ аспірант кафедри географії України та регіоналістики
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: zakharchuk.ivan@chnu.edu.ua
ORCID: 0009-0009-0327-9346

Volyn, Rivne, Lviv, Ternopil, Ivano-Frankivsk, Zakarpattia, and Chernivtsi. The western regions of Ukraine are considered a heterogeneous space shaped by a variety of historical-geographical and social factors.

The research is based on a dataset of over 20,000 unique surnames collected from open sources – demographic registries, digital cartographic services, archival documents, and local history dictionaries. The article reveals a clear geospatial and cultural localization of many surnames, indicating their local geocultural formation. Several ethnocultural clusters of anthroponyms were identified: for example, surnames of Hungarian origin are predominant in Zakarpattia, while surnames with Romanian roots dominate in Chernivtsi Oblast, forming distinct anthroponymic zones. The study confirms the influence of geographical factors on the morphology of surnames: different structural types of surnames (patronymic forms, toponymic surnames, etc.) prevail in different historical-geographical areas of the regions. The obtained results deepen the understanding of the geocultural identity of the population in Western Ukraine and are significant for further geographical research. In particular, the proposed approach to the study of anthroponyms can complement the developments in cultural toponymy and contribute to interdisciplinary research in the fields of ethnogeography and cultural heritage.

Key words: anthroponymy, perceptual geography, spatial analysis, historical-geographical lands, linguistic-geographical diversity.

Вступ

Прізвище є не лише одиницею власної, або ж особистісної ідентифікації особи, а й багатошаровим соціокультурним, етнолінгвістичним та географічним маркером. Воно вкоренилось у конкретному історичному часі й просторі, адже прізвища успадковувались і передавались нащадкам, і ми можемо виділити найбільші ареали проживання власників прізвищ та навіть окремо топоніміку певного регіону. У процесі передачі прізвища між поколіннями саме прізвище зберігає в собі сліди культурної пам'яті, що дозволяє простежити сталі ареали їх поширення. Особливо виразно це спостерігається в регіонах з високою щільністю населення і міжетнічної взаємодії різних етнічних груп, особливо проявляється серед західних регіонів України.

У контексті географічного аналізу антропонімія (вивчення прізвищ) виступає не вторинним чи допоміжним аспектом, а фундаментальним джерелом для відображення геопросторових і культурних груп населення. Західні регіони України є геопростором інтенсивного історико-географічного перетину та переплетіння слов'янських (здебільшого українських), мадярських, румунських та германських впливів, які дозволяють виявити цілу систему локальних відмінностей, закарбованих протягом століть у прізвищах мешканців, що стало також частиною їх ідентифікації. Це дає змогу вивчати прізвище як частину соціальної (колективної) ідентичності, особливо в перцепційно-географічних дослідженнях.

Матеріал і методи

Матеріалом для аналізу стали вибірки найбільш поширених прізвищ у межах адміністративно-територіальних одиниць семи областей на заході України: Волинської, Рівненської, Львівської, Тернопільської, Івано-Франківської, Закарпатської та Чернівецької.

Мета статті – проаналізувати регіональні особливості розподілу прізвищ як форми культурної ідентичності, виявити закономірності історико-географічної пам'яті, соціоетнічної спадковості й мовно-ідентифікаційних процесів, а також продемонструвати потенціал антропонімії як інструменту геопросторового моделювання.

Результати та їх обговорення

Дослідження української антропонімії нерозривно пов'язані з вивченням архівних джерел, які дають змогу відтворити процеси формування прізвищ ще у XVI столітті (Єфименко, 2003). Зокрема, реєстри Війська Запорізького слугують цінною базою для аналізу соціального складу населення та походження прізвищ (Карпенко, 1994). Також важливим є вивчення типів прізвищ за їх походженням: етнічним, професійним, географічним (Кулішенко і Ярош, 2015). У цьому контексті цінним є й узагальнювальний аналіз наукових позицій щодо формування ономастичних традицій (Верменич, 2004). Поглиблений аналіз антропонімії досліджується в працях (Булава, 2016; Вирста і Рокіцька, 2020; Поповський, 2020; Лаврентьева, 2020). Зокрема, Н. Булава (Булава, 2016) акцентує увагу на потребі міждисциплінарного підходу до вивчення українських прізвищ, поєднуючи мовознавчий аналіз із соціокультурним контекстом. У своїх працях (Вирста і Рокіцька, 2020) узагальнюють основні здобутки українських ономастів кінця XVII – початку XXI століття, підкреслюючи вагому роль історичних джерел і картографування у встановленні регіональної специфіки прізвищ. У своїй монографії (Поповський, 2020) розглядає не лише мовну структуру, а й соціальні маркери прізвищ, зокрема в контексті модерних трансформацій. Цінним є також внесок А. Лаврентьевої

(Лаврентьева, 2020), яка застосовує геолінгвістичний підхід до дослідження прізвищ та пропонує досвід їх картографування, що відкриває нові перспективи для просторового аналізу. У своїх дослідженнях (Колоїз, 2010) торкається теми денационалізації українських прізвищ, що є важливим аспектом у вивченні їх змін під тиском історичних і політичних обставин. У сукупності ці праці підтверджують актуальність просторової парадигми в сучасній ономастиці та антропонімії, підкреслюючи складність прізвища як носія колективної пам'яті, культурної спадщини та регіональної ідентичності. У цьому контексті також варто згадати працю (Фартушняк, 2015). Дослідниця, окреслюючи ключові підходи до вивчення української прізвищевої системи – історико-лінгвістичний, соціолінгвістичний, етимологічний і географічний, наголошує на важливості просторового аналізу як засобу виявлення ареалів поширення антропонімів, зумовлених соціальними, історичними та культурними чинниками. Хоча географічний підхід не розглядається як основний напрям в її роботі, авторка підкреслює важливість просторового аналізу у вивченні прізвищ. Тобто виділення певних ареалів поширення прізвища також є частиною антропонімічних досліджень.

Зокрема, К. Фартушняк зазначає, що формування прізвищ в Україні відбувалося під впливом різних історичних, соціальних та культурних факторів, які мали чітко виражену географічну прив'язку. Наприклад, у західних регіонах України, як-от Галичина, Волинь та Закарпаття, спостерігається поширення прізвищ із суфіксами *-ук*, *-юк*, *-чук*, що вказує на патронімічне походження та збереження традиційних форм найменувань. Натомість у центральних та східних областях переважають прізвища з суфіксом *-енко*, що також має патронімічне походження, але відображає інші історичні та культурні впливи (Фартушняк, 2015).

Крім того, на формування прізвищ впливали міжетнічні контакти та міграційні процеси, які зумовлювали різноманітність антропонімічної системи. Дослідження походження та поширення українських прізвищ здійснювали низка вітчизняних учених (Неділько, 1967; Редько, 1966; Сенів, 1986; Сухомлин, 1965; Худаш, 1977; Чучка, 2008; Керста, 1984).

Так, у прикордонних зонах, зокрема на Закарпатті, дослідження висвітлено у праці (Чучка, 2008), присвяче-

ній вивченню антропонімічного ландшафту Закарпаття, Північній Буковині та Північній Бессарабії, спостерігається наявність прізвищ з угорськими, румунськими та частково польськими елементами, що свідчить про історичну присутність цих етносів у регіоні та їх вплив на антропонімію.

Таким чином, аналіз попередніх досліджень, зокрема праці (Фартушняк, 2015), демонструє важливість географічного підходу у вивченні української прізвищевої системи, а також прізвищ, які поширені на території України загалом. Просторовий аналіз дозволяє виявити регіональні особливості формування та поширення прізвищ, а також зрозуміти історико-культурні процеси, що впливали на їх становлення.

У процесі дослідження було здійснено синтез результатів попередніх ономастичних праць та проведено власний аналіз просторового розподілу прізвищ із використанням даних геоінформаційного порталу «Рідні» (ridni.org). За допомогою цього ресурсу було зібрано інформацію щодо поширення понад 120 найбільш уживаних прізвищ у західних регіонах України. Зібрані дані порівнювалися з висновками, викладеними в наукових публікаціях, зокрема щодо типових суфіксальних моделей та регіональної прив'язки прізвищ. Під час опрацювання враховувались як сучасні адміністративні одиниці, так й історико-географічні землі. Результати було згруповано за регіональними типами просторової специфіки поширення прізвищ.

З метою ілюстрації просторової диференціації антропонімів у межах України наведено одну з картосхем, що відображає відносну щільність поширення прізвища *Бойчук* (Boychuk) на території України (рис. 1). Візуалізація засвідчує його концентровану присутність переважно в західних регіонах, зокрема в межах Гуцульщини, що є прикладом локалізованого антропонімічного ареалу.

Для Волині відзначено переважання прізвищ із суфіксами *-ук/-юк* та *-чук*, що є характерною рисою Поліського регіону, в багатьох районах Волинської області найбільш поширені прізвища саме з такими закінченнями. Наприклад, у Старовижівському районі серед лідерів: *Головачук*, *Янчук*, *Марчук*, *Ковальчук*, *Поліщук*. У Турійському районі у п'ятірку входять: *Петрук*, *Пінчук*, *Гайдук*, *Полещук*, *Ковальчук*. Повторюваність цих прізвищ свідчить про їх масовість: *Ковальчук* трапляється одразу в кількох районах (наприклад,

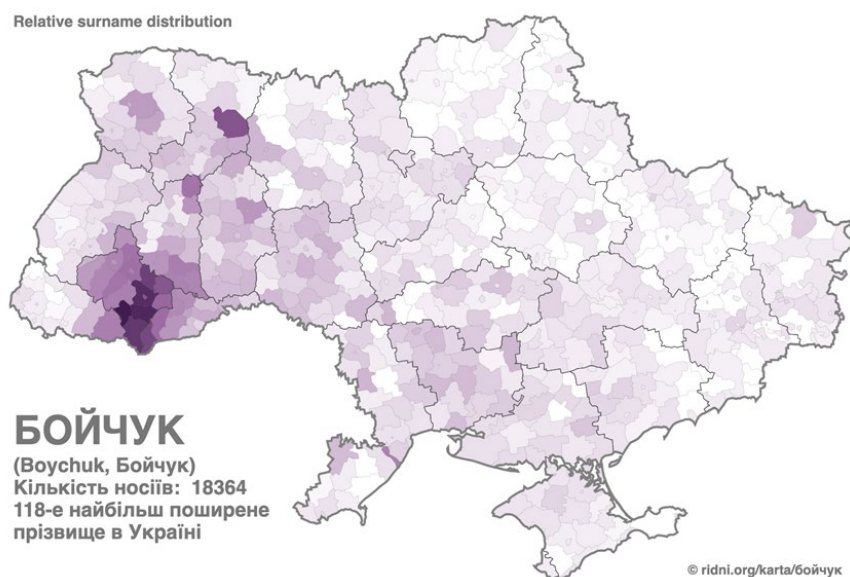


Рис. 1. Картохема поширення прізвища Бойчук у регіонах України (Абсолютне..., 2025)

і в Старовижівському, і в Турійському), *Поліщук/Полещук* у Турійському та Луцькому, *Марчук* у Старовижівському та Луцькому районах. Також згадуються прізвища із закінченням на *-чук* – *Дмитрук*, *Кравчук*. *Дмитрук* присутній у Рожищенському та Ковельському районах, *Кравчук* – у Рожищенському.

Окрім суфіксальних, у Волинській області трапляються й топонімічні прізвища, а також інші форми. Цікавий приклад прізвища *Сокальський* у Горохівському районі, яке вказує на походження предків з міста Сокаль (географічно розташованого на Галичині). Дані підтверджують наявність *-ський/-цький* прізвищ, хоч і не повсюдно: той же *Сокальський* чи, скажімо, *Сачковський* поширені в Маневичському районі.

Прізвища з характерними для Волині суфіксами *-ук/-чук* є доміантними для регіону. Усі приклади із закінченням на *-ук* (як-от *Ковальчук*, *Поліщук*, *Кравчук*, *Дмитрук* тощо).

Для Рівненщини також характерна польська прізвищна модель. Особливо відчувається вплив поширеності *-ук/-чук* прізвищ: *Кравчук*, *Ковальчук*, *Ткачук*, *Шевчук*. Зокрема, в Березнівському районі серед п'ятірки найпоширеніших прізвищ: *Коваль*, *Ковальчук*, *Мельник*, *Шевчук*, *Ткачук*. Прізвище *Ткачук* трапляється одразу в кількох районах (окрім Березнівського, воно друге за популярністю в Сарненському районі).

Хоча загалом у західних регіонах України частка *-енко* невелика, у північ-

них районах Рівненської області вони зустрічаються часто. У Володимирецькому районі *Шевченко* та *Коваленко* входять до п'ятірки найпоширеніших. Важливо зазначити, що наявність *-енко* прізвищ на півночі області не є доміантним, але кількість прізвищ із суфіксальним закінченням на *-енко* невелика, вони поширені, хоч їх поширення здебільшого локалізоване.

Загалом, основні професійно-патронімічні прізвища України, які поширені в Рівненській області: *Мельник* (Березнівський район), *Коваль* (Березнівський, Здолбунівський райони), *Олійник* (Корецький район).

На Рівненщині особливо поширені прізвища із суфіксальним закінченням *-чук* (*Ковальчук*, *Шевчук*, *Ткачук*).

Львівська область характеризується власними прізвищними традиціями, і через сильний вплив польської антропонімії (історичні зв'язки), і через локальні особливості окремих етногруп (бойків, лемків).

Дані, узагальнені відповідно до нового адміністративного поділу області на сім районів, підтверджують, що прізвища із суфіксом *-енко* тут трапляються значно рідше – у жодному з новоутворених районів вони не ввійшли до п'ятірки найпоширеніших. Натомість часто зустрічаються прізвища на *-ський/-цький*, але ці прізвища не всі обов'язково польського походження. Багато з них є українськими або походять від місцевих топонімів. Наприклад, у Стрийському районі бачимо

Данчевський, у Золочівському – Білінський. Слід зазначити, що носіїв -ський прізвищ у Галичині чимало, але це не завжди «польські пани», як звикли ми в розумінні стереотипів походження прізвища, а й українізовані шляхетські роди чи просто похідні від назв місцевостей прізвища.

Серед найбільш повторюваних на Львівщині прізвищ дані показують такі: *Кравець* (є в списках Львівського та Червоноградського районів), *Гнатів* (Львівський, Червоноградський, Яворівський райони), *Вихопень* (Львівський і Червоноградський райони.) Це досить унікальні для області прізвища, пов'язані з її місцевою історією.

Окремо варто відзначити етнонімі прізвища. На Львівщині, зокрема на її півдні та в гірській місцевості, живуть етнографічні групи бойків, де прізвище *Бойко* є показовим. В Яворівському районі *Бойко* входить до топ-5 (хоча Яворівський район не є гірським). Прізвище *Бойко* також масово присутнє на суміжній Івано-Франківщині (особливо в Яремчі). Прізвище *Бойко* можна віднести до характерних для Галицького регіону, зокрема воно є одним із найпоширеніших серед жителів Українських Карпат.

У Львівській області менше прізвищ на -ук/-чук, ніж на Волині, однак їх поширення також присутнє. Наприклад, у Львівському районі серед п'ятірки є *Ковальчук*, у Яворівському – *Кравець* (форма закінчення на -ець) і той самий *Гнатів* (на -ів). Галицькі прізвища часто мають закінчення -ів/-ів, -ук, -цьо тощо. Наприклад, прізвища *Вовків*, *Сенів*, які поширені в Дрогобицькому районі.

Тернопільська область ідентифікується як історико-географічний край Галичина (її східна частина), але північ області (Кременецький, Шумський, Лановецький райони за старим адміністративним поділом) відноситься до Волинського історико-географічного регіону. Варто звернути увагу на подвійну природу походження прізвищ населення області: північ – більш «поліські» прізвища, південь і центр області – «галицькі».

У північній частині, що охоплює Лановецький район, до п'ятірки найпоширеніших увійшли прізвища *Гуменюк*, *Домчук*, *Дрозд*, *Процюк*. Серед них помітні два прізвища із закінченням на -ук/-чук (наприклад, *Гуменюк*) та загальноукраїнське прізвище *Дрозд*. Натомість для Борщівського району характерний інший набір: *Ткач*, *Чопик*, *Дусяк*, *Зварич*. Тут варто відзначити прізвище *Ткач*, що має професійне походження й вказує на ремесло, ставши елементом особистої ідентифікації. Прізвище *Зварич* пов'язане з дієсловом «зварити» та історично могло

означати людину, зайняту в солеварінні. Решта прізвищ є менш типовими й поширюються переважно локально. Цікаво, що *Ткач* – це основа для прізвища *Ткачук*, яке переважає на півдні, а обидва вони мають спільне походження, об'єднуючи Борщівщину та сусідні області.

Серед найбільш поширених в області прізвищ можна виокремити декілька прізвищ, які зустрічаються в більш ніж одному районі. *Бойко* – типове для всього заходу України – присутнє щонайменше у двох районах Тернопільщини: Монастирського та Теребовлянського. Прізвище *Ковальчук* також є в Монастирському (разом із Мельником і Бойком), *Шевчук* – у Кременецькому районі. Тобто і «волинські» прізвища просочуються на Тернопільщину, що демонструє зв'язок із сусідньою Волинською областю.

До менш уживаних, але локально зафіксованих прізвищ належать *Петришин* і *Шпитковський* (Підгаєцький район), *Дейдей* і *Гумницький* (Зборівський район), а також *Карпів* і *Татарин* (Теребовлянський район). Хоча ці антропоніми не належать до найпоширеніших, їх присутність свідчить про специфіку місцевого іменного фонду.

Івано-Франківщина (історично Прикарпаття, включно з історико-географічними землями Покуття, Гуцульщина і частково Бойківщина) демонструє велику різноманітність прізвищ. Виокремимо окремо гуцульські райони (Верховинський, Косівський, частково Надвірнянський), покутські (Коломийський та Снятинський), бойківські (Галицький і частина Рогатинського).

На Гуцульщині Верховинський район має найпоширеніші прізвища: *Климюк*, *Джуряк*, *Петрук*, *Гребенюк*, *Гринчук*. У Косівському районі: *Пасайлюк*, *Девдюк*, *Дубей*, *Корпанюк*. Тут особливо поширена велика кількість суфіксів у прізвищах, а саме: -юк/-нюк (*Климюк*, *Гребенюк*, *Рабанюк*, *Корпанюк*), що є характерним для гуцульських прізвищ. Наприклад, *Корпанюк* чи *Джуряк* цілком типові для Гуцульщини і належать до найпоширеніших у цих районах. Прізвище *Зеленчук*, як гуцульське (відоме з фольклору), також зустрічається.

На Покутті (Коломийщина, Снятинщина) у Коломийському районі найпоширеніші прізвища – *Чобанюк*, *Станіславський*, *Григорук*, *Шевчук*, *Павлюк*; у Снятинському – *Касяня*, *Кіцул*, *Гордей*, *Шумко*, *Остафійчук*. Тут бачимо поєднання прізвищ з різними коренями. *Станіславський* у Коломиї звертає на себе увагу тим, що це прізвище походить від старої назви обласного центру (Станіславів), а його

наявність у Коломийському районі підтверджує історико-культурні зв'язки (ймовірно, переселення або походження родів зі Станіслава). Чобанюк цікаве прізвище тим, що воно походить від слова «чабан» (вівчар), але із суфіксом -юк; воно теж серед лідерів на Коломийщині. У цьому контексті показовим є прізвище Чобан (що означає «пастух»), поширене на Буковині, яке ілюструє культурну спорідненість із Покуттям. У межах інших частин області, зокрема на Бойківщині, фіксується певне антропонімічне різноманіття. Так, у Галицькому районі серед поширених прізвищ – Іванчук, Шевчук, Галицький, Ковальчук, Пилип'як; у Рогатинському – Гнатів, Кравець, Паньків, Савіцький, Стефанишин, Чепіль. Тут одночасно представлені прізвища із суфіксами -ук (Іванчук, Ковальчук, Шевчук), -ський (Савіцький), а також топонімічне прізвище Галицький, що є прямою вказівкою на локальний географічний контекст. На окрему увагу заслуговує прізвище Гнатів, як і загалом низка типово галицьких прізвищ, характерних для Івано-Франківщини, що підтверджується даними, зокрема, по Рогатинському району.

Загалом, найбільш повторюваними в області можна назвати хіба що кілька прізвищ: Мельник (присутній у Калуському та Івано-Франківському районах); Шевчук (Коломийський, Галицький райони); Ковальчук (Надвірнянський, Галицький); Бойко (з'являється в Івано-Франківському районі, тобто в самому місті та околицях). Прізвище Бойчук (похідне від Бойко) теж є – у списку Івано-Франківського району. Бойко на Франківщині – одне з найпоширеніших (наприклад, друге місце в Івано-Франківську).

Закарпаття виділено в статті окремо через свою унікальну етнічну структуру. Варто розуміти, що через історико-географічні фактори прізвища мають видозміннені мадяризовані форми, адже значна частина місцевих прізвищ має угорське походження або зазнала угорського впливу.

У Берегівському районі (центрі угорської громади України) вся топова п'ятірка прізвищ мають угорське походження: Сабов, Біров, Молнар, Ковач, Мезей. Це угорські прізвища, де, наприклад, Молнар – молотар чи мірошник; Ковач – коваль; Сабов/Сабо походить від імені «Сабольч», чи слова «шабля»; Біров, можливо, від угор. bíró – суддя; Мезей походить від «mező» – поле). Мукачівський район теж має переважно угорські або русинські прізвища: Попович, Товт, Сабо, Орос, Ляшко. Тут Попович виступає як українське/русинське прізвище, а от Товт (угорська форма

прізвища Товт/Таут), Сабо, Орос – угорські прізвища, останнє з яких означає «русин, українець». Ужгородський район: Боднар, Балоба, Пап, Горват, Русин. Тут Боднар має спільне угорсько-українське (в угорців Bodnár), Балоба частково угорське «Balogh» («молодший»), Русин, очевидно, етнонім русина. Інші райони Закарпаття мають змішані прізвища з переважанням українських: у Хустському районі – Мельник, Іванчо, Петрусь, Шимон, Сливка; у Тячівському – Дудаш, Думнич, Токар, Бедей, Горничар; у Рахівському – Копич, Бочкор, Калинюк, Лендел, Юркуц.

Отже, мадяризовані прізвища дійсно посідають провідні позиції серед найпоширеніших на Закарпатті. Їх популярність підтверджується емпіричними даними: зокрема, Ковач, Молнар та Сабов/Сабо стабільно фіксуються у верхніх позиціях у Берегівському та Мукачівському районах, а прізвище Балоба входить до п'ятірки найпоширеніших в Ужгороді.

Українські (русинські) прізвища на Закарпатті теж присутні, хоч і знизу списків популярності, наприклад, Мельник – у Хустському районі (цікаво, що єдиний район з українською більшістю дав загальноукраїнське найчастіше прізвище на перше місце), Калинюк – у трійці лідерів Рахівщини, Попович – 1-е місце у Мукачівському районі. Отже, всупереч можливому стереотипу, не всі закарпатські прізвища угорські; значна частка типових українських прізвищ також потрапляє до переліку найпопулярніших, особливо в горах.

Закарпаття можна оцінити як доволі різноманітну область за поширенням прізвищ. Мадярські прізвища найчастіше зустрічаються в угорськомовних районах, а українські частіше зустрічаються в периферійних частинах області.

Чернівецька область охоплює два історико-географічні краї – Північну Буковину та Північну Бессарабію. Населення тут етнічно строкате: українці (у тому числі буковинські гуцули на південному заході), румуни, молдовани, а також змішані громади. Дані за старими районами підтверджують наявність різних за походженням прізвищ у п'ятірці провідних.

Румуномовні райони (Герцаївський, частково Новоселицький, Глибоцький): у Герцаївському районі 4 з 5 найчастіших прізвищ є румунськими: Петреску, Гергіца, Думитру, Попович, Коваль. Попович виділяється як слов'янське, але його носіями можуть бути й українці, й румуни (прізвище адаптоване у двох мовах). Новоселицький район переважно змішаний українсько-молдовський: Ткачук, Мельник, Коваленко, Шевченко.

Цікаво, що в Новоселиці перші місця займають українські прізвища (*Ткачук, Мельник*), хоч район має значну молдовську громаду. Мабуть, молдовські прізвища в Новоселицькому районі більш розпорошені. Глибоцький район (також з румунською меншиною) показує мікс: *Гуменюк, Іванчук* (українські), *Шкробанець* (українське діалектне), *Козак* (може бути і українським, і румунським), *Зварич* (українське). Тобто серед частих прізвищ на півночі та сході області відчутно українську домінують, румунські прізвища більш сконцентровані в невеликому Герцаївському районі й частково по селах інших районів. Особливо підкреслюється наявність прізвищ, які закінчуються на *-еску*. Наприклад, *Попеску* в Кельменецькому, *Петреску* в Герцаївському, що цілком підтверджують цю рису.

Українські райони (*Хотинський, Заставнівський, Вижицький, Путильський* тощо). Перша п'ятірка поширеніших прізвищ у Хотинському районі (переважно українське населення з певним молдовським впливом): *Ясінський, Барановський, Кантемір, Корсаки, Корицький*. Тут лише *Кантемір* явно молдовсько-татарського походження (прізвище молдавських князів), решта – українські/польські за звучанням. Заставнівський район: *Сорохан, Івасюк, Чорней, Боднар, Гнатюк*. Тут бачимо *Сорохан, Чорней* – молдово-румунські (поширені прізвища на Буковині), поруч із ними *Івасюк, Боднар, Гнатюк* переважно типові українські. Вижицький район (Буковинське Передгір'я, включно з гуцулами): *Іванюк, Гаврилюк, Петрук, Марусик, Гордей* – усі п'ять прізвищ українські (гуцульського або подільського типу). Путильський район (гірська Буковина, гуцули): *Марусяк, Буряк, Михайлюк, Микитчук, Бурдузяк* майже всі українські, хоча *Бурдузяк* має відтінок румунського слова «бурдуз» (можливо, прізвисько). Кіцманський район: *Бобик, Палагнюк, Іванчук, Шевчук* – чисто український набір.

Отже, дані показують, що найчастіші прізвища Чернівецької області дуже різняться за районами: десь домінують українські (*-ук, -юк, -чук*), десь румунські (*-еску, -ей*), десь змішані (Герцаївський район). Зокрема, прізвище *Ткачук* знову зустрічається серед найпоширеніших, воно входить до п'ятірки в Кельменцях і фіксується в Новоселиці. Цей феномен аналогічний тому, що спостерігається на Волині та Рівненщині.

Висновки

Прізвища із суфіксами *-ук/-юк/-чук* домінують у північних і загалом поліських частинах Західної України (Волинь, Рівненщина) і широко трапляються по інших областях. Прізвище *Ткачук* є чудовим

прикладом: воно в п'ятірці лідерів на Волині (Камінь-Каширський район), Рівненщині (Березнівський, Сарненський райони) та Буковині (Новоселицький, Кельменецький райони). *Ковальчук, Шевчук, Гаврилюк, Іванюк* аналогічно зустрічаються в багатьох регіонах, що свідчить про спільну мовну основу прізвищ Полісся, Поділля та Карпат.

Прізвища-етноніми та прізвища-професії. У багатьох областях популярні прізвища, які походять від етнічних прізвищ (*Бойко, Москаль, Русин, Ляшко, Поліщук* тощо) чи від занять (*Шевчук, Ткачук, Гончар, Коваль* тощо). Такі прізвища нерідко виникали незалежно в різних частинах України, тому вони потрапили до списків найпоширеніших у різних регіонах. Наприклад, *Бойко* як етнонім зафіксовано в топах Яворівського району Львівщини і Сторожинецького району Буковини, хоч ці райони далеко один від одного. *Москаль* є в Самбірському районі Львівщини, *Руснак* у Сокирянському районі Чернівецької області, обидва означають «росіянин/руський», але їх носіями стали українці в зовсім різних землях.

Закінчення *-ський/-цький* поширені не лише на Галичині, а й на Волині (*Сокальський, Сачковський*), Поділлі (*Добровольський* на Тернопільщині) і навіть у центральних районах Буковини (*Барановський* на Хотинщині). Багато з них справді походять від назв місцевостей, що не обов'язково знаходяться в Польщі, де в основі закладені українські топоніми. Прізвище *Білінський* на Львівщині, ймовірно, походить від назви села Білін, а *Корецький* на Рівненщині – від міста Корець на Волині. Морфологічно ці прізвища є спільним надбанням кількох народів, що коректно відображено в статті, де експерти підкреслювали: цей феномен не є виключно польським.

Угорські та румунські прізвища мають характер локальних кластерів. Це підтверджується тим, що мадярські прізвища масово трапляються на Закарпатті (особливо Берегівщина), а румунські – на півдні Чернівецької області (Герцаївщина). Наприклад, *Іванчо, Шимон* – угоризми на Закарпатті; *Чобан, Тодоришен* – румунізми на Буковині. Ці культурні острівці чітко простежуються у фактичних списках.

Окремі прізвища вказують на історичні події та міграції. Так, у Волинській та Рівненській областях зустрічаються українські прізвища із закінченням *-енко*, що є наслідком переселень із Російської імперії або за радянських часів (*Шевченко, Коваленко* тощо). На Галичині натомість майже не зустрічаються прізвища на *-енко*, що зумовлено тривалим впливом Австро-Угорської імперії, де такі прізвища не були

нормою. Тому Львівщина має найнижчий відсоток закінчень на *-енко* (~4%). Появу *Сабов*, *Орос* на Закарпатті можна пояснити колонізацією слов'ян угорцями, а *Кантемір* на Буковині – під впливом молдовського князівського роду.

Список використаної літератури

- Абсолютне поширення прізвища «Бойчук». Рідні. Дослідження родоводу в Україні. [Електронний ресурс]. URL: <https://ridni.org/karta/бойчук> (дата звернення: 28.07.2025).
- Булава Н.Ю. Про стан та перспективи дослідження українських прізвищ. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія: Філологія*. 2016. Вип. 26, т. 1. С. 9–12. [Електронний ресурс]. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&S21P03=FILA=&S21STR=Nvmgu_filol_2016_25%281%29_4 (дата звернення: 28.07.2025).
- Верменич Я.В. Історична географія й регіоназнавство: наступність і взаємодія. *Істину встановлює суд історії*: збірник на пошану Ф.П. Шевченка. Т. 2. Київ, 2004. С. 488–517. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.academia.edu/24818351/> (дата звернення: 28.07.2025).
- Вирста Н.Б., Рокіцька Н.В. Основні напрямки дослідження українських прізвищ (кінець XVII – початок XXI ст.): І. Доробок українських ономастів. *Studia z Filologii Polskiej i Słowiańskiej*. 2020. Т. 55. С. 77–95. <https://doi.org/10.11649/sfps.1948>.
- Єфименко І.В. Українські прізвищеві назви XVI ст. ; НАН України, Ін-т укр. мови. Київ, 2003. 168 с. [Електронний ресурс]. URL: <http://resource.history.org.ua/item/0013183> (дата звернення: 28.07.2025).
- Карпенко Ю.О. Реєстри Війська Запорізького і проблема постановки українських прізвищ. *Питання історичної ономастики України*. Київ : Наукова думка, 1994. С. 182–201.
- Керста Р.Й. Українська антропонімія XVI ст. Чоловічі іменування. Київ : Наукова думка, 1984. 151 с. [Електронний ресурс]. URL: <https://irbis-nbuv.gov.ua/ulib/item/ukr0011682> (дата звернення 28.07.2025).
- Колоїз Ж.В. Деяко про українські прізвища та їхню денационалізацію. *Філологічні студії*. 2010. Вип. 4. С. 32–38. <https://doi.org/10.31812/filstd.v4i0.927>.
- Кулішенко Л., Ярош Ю. Джерела походження українських прізвищ. *Збірник наукових праць молодих учених та аспірантів Інституту українознавства ім. І. Крип'якевича НАН України*. 2015. Вип. 10. С. 100–107.
- Лаврентьєва А. П. Прізвища в контексті геолінгвістики: досвід картографування. *Український геолінгвістичний щорічник*. 2020. № 5. С. 45–52. [Електронний ресурс]. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/83035/1/Kulishenko_wpr_10_2015.pdf;jsessionid=2D0AF059EAB87799F2F1A2F09793E462 (дата звернення: 28.07.2025).
- Неділько О.Д. Про утворення українських прізвищ. *Укр. мова і літ. в шк.* 1967. № 9. С. 19–26.
- Поповський А.М. Деякі про українські прізвища : монографія. Дніпро : Ліра, 2020. 300 с. [Електронний ресурс]. URL : <https://lira.dp.ua/pdf/deshhiczua.pdf> (дата звернення: 28.07.2025).
- Редько Ю.К. Сучасні українські прізвища. Київ : Наукова думка, 1966. 216 с.
- Сенив М.І. Українська антропонімія XIV–XVIII ст. (жіночі найменування) : автореф. дис. ... канд. філол. наук : 10.02.02. Ужгород, 1986. 16 с.
- Сухомлин І.Д. З історії українських прізвищ. *Укр. мова і літ. в шк.* 1965. № 4. С. 24–28.
- Фартушняк К.О. Основні напрями вивчення української прізвищевої системи. *Science and Education a New Dimension. Philology*. 2017. Vol. 32, № 122. P. 41–43. [Електронний ресурс]. URL: <https://seanewdim.com/wp-content/uploads/2021/03/The-main-ways-of-studying-Ukrainian-surname-system-K.-O.-Fartushnyak.pdf> (дата звернення: 28.07.2025).
- Худаш М.А. З історії української антропонімії : монографія. Київ : Наукова думка, 1977. 236 с. [Електронний ресурс]. URL: https://shron1.chtyvo.org.ua/Khudash_Mykhailo/Z_istorii_ukrainskoi_antropnimii.pdf (дата звернення: 28.07.2025).
- Чучка П.П. Антропонімія Закарпаття : монографія. Київ : ТОВ «Папірус», 2008. 672 с. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.academia.edu/61453889> (дата звернення: 28.07.2025).

References

- Absolyutne poshyrennya pryzvyshcha «Boychuk». Ridni. Doslidzhennya rodovodu v Ukrayini [Absolute spread of the surname "Boychuk". Ridni. Research on the genealogy in Ukraine]. [Electronic resource]. URL: <https://ridni.org/karta/бойчук> (date of access 28.07.25). [in Ukrainian].
- Bulava, N.Yu. (2016). Pro stan ta perspektyvy doslidzhennia ukrainskykh pryzvyshch [On the state and prospects of research on Ukrainian surnames]. *Naukovyi visnyk Mizhnarodnoho humanitarnoho universytetu. Seriya: Filolohiia [Scientific Bulletin of the International Humanitarian University. Series: Philology]*, 26 (1), 9–12. [Electronic resource]. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S

21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=Nvmgu_filol_2016_25%281%29_4 (date of access 28.07.25). [in Ukrainian].

Vermynych, Ya.V. (2004). Istorychna heohrafiia y rehionoznavstvo: nastupnist i vzaemodiia [Historical geography and regional studies: succession and interaction]. *Istynu ustanovliuie sud istorii: zbirnyk na poshanu F.P. Shevchenka [The Court of History Establishes the Truth: Collection in Honor of F.P. Shevchenko]*, 2, 488–517. [Electronic resource]. URL: <https://www.academia.edu/24818351/> (date of access 28.07.25). [in Ukrainian].

Vyrsta, N.B. & Rokitska, N.V. (2020). Osnovni napriamky doslidzhennia ukrainskykh prizvyshch (kinets XVII – pochatok XXI st.): I. Dorobok ukrainskykh onomastiv [Main directions of the study of Ukrainian surnames (late 17th – early 21st century): I. Contributions of Ukrainian onomasticians]. *Studia z Filologii Polskiej i Słowiańskiej*, 55, 77–95. [Electronic resource]. URL: <https://doi.org/10.11649/sfps.1948> (date of access 28.07.25). [in Ukrainian].

Yefymenko, I.V. (2003). Ukrainski prizvyshchevi nazvy XVI st. [Ukrainian surname names of the 16th century]. Kyiv : Nats. akad. nauk Ukrainy, Instytut ukrainskoi movy. 168. [Electronic resource]. URL: <http://resource.history.org.ua/item/0013183> (date of access 28.07.25). [in Ukrainian].

Karpenko, Yu.O. (1994). Reiestry Viiska Zaporizkoho i problema postannia ukrainskykh prizvyshch [The registers of the Zaporizhzhia Army and the problem of the emergence of Ukrainian surnames]. In *Pytannia istorychnoi onomastyky Ukrainy [Issues of historical onomastics of Ukraine]* (pp. 182–201). Kyiv : Naukova dumka [in Ukrainian].

Kersta, R.Yi. (1984). Ukrainska antroponimiia XVI st.: cholovichi naimenuvannia [Ukrainian anthroponymy of the 16th century: male names]. Kyiv : Naukova dumka. 151. [Electronic resource]. URL: <https://irbis-nbuv.gov.ua/ulib/item/ukr0011682> (date of access 28.07.25). [in Ukrainian].

Koloiz, Zh.V. (2010). Dershcho pro ukrainski prizvyshcha ta yikhnuu denatsionalizatsiu [Some remarks on Ukrainian surnames and their denationalization]. *Filolohichni studii [Philological Studies]*, 4, 32–38. <https://doi.org/10.31812/filst.d.v4i0.927> [in Ukrainian].

Kulishenko, L. & Yarosh, Yu. (2015). Dzherela pokhodzhennia ukrainskykh prizvyshch [Sources of origin of Ukrainian surnames]. *Zbirnyk naukovykh prats molodykh uchenykh ta aspirantiv Instytutu ukrainoznavstva im. I. Krypiakevycha NAN Ukrainy [Collection of scientific works of young scientists and graduate students of the Krypiakevych Institute of Ukrainian Studies]*, 10, 100–107. [Electronic resource]. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/83035/1/Kulishenko_wpr_10_2015.pdf;jsessionid=2D0AF059EAB87799F2F1A2F09793E462 (access date 28.07.2025) [in Ukrainian].

Lavrenteva, A.P. (2020). Prizvyshcha v konteksti heolinhvistyky: dosvid kartohrafuvannia [Surnames in the context of geolinguistics: cartographic experience]. *Ukrainskyi heolinhvistychnyi shchorichnyk [Ukrainian Geolinguistic Yearbook]*, 5, 45–52. [in Ukrainian].

Nedilko, O.D. (1967). Pro utvorennia ukrainskykh prizvyshch [On the formation of Ukrainian surnames]. *Ukrainska mova i literatura v shkoli [Ukrainian Language and Literature at School]*, 9, 19–26. [in Ukrainian].

Popovskiy, A.M. (2020). Dshytsia pro ukrainski prizvyshcha: monohrafiia [A trifle about Ukrainian surnames: monograph]. Dnipro : Lira. 300. [Electronic resource]. URL: <https://lira.dp.ua/pdf/deshhiczya.pdf> (date of access 28.07.25). [in Ukrainian].

Redko, Yu.K. (1966). Suchasni ukrainski prizvyshcha [Modern Ukrainian surnames]. Kyiv : Naukova dumka. 246. [in Ukrainian].

Senyv, M.I. (1986). Ukrainska antroponimiia XIV–XVIII st. (zhinochi naimenuvannia): avtoref. dys. ... kand. filol. nauk: 10.02.02 [Ukrainian anthroponymy of the 14th–18th centuries (female names): Author's abstract of PhD dissertation in Philology: 10.02.02]. Uzhhorod. 16. [in Ukrainian].

Sukhomlyn, I.D. (1965). Z istorii ukrainskykh prizvyshch [From the history of Ukrainian surnames]. *Ukrainska mova i literatura v shkoli [Ukrainian Language and Literature at School]*, 4, 24–28. [in Ukrainian].

Fartushniak, K.O. (2017). Osnovni napriamy vyvchennia ukrainskoi prizvyshchevoi systemy [Main directions of the study of the Ukrainian surname system]. *Science and Education a New Dimension. Philology*, 32(122), 41–43. [Electronic resource]. URL: <https://seanewdim.com/wp-content/uploads/2021/03/The-main-ways-of-studying-Ukrainian-surname-system-K.-O.-Fartushnyak.pdf> (access date 28.07.2025) [in Ukrainian].

Khudash, M.L. (1977). Z istorii ukrainskoi antroponimii: monohrafiia [From the history of Ukrainian anthroponymy: monograph]. Kyiv : Naukova dumka. 236. [Electronic resource]. URL: https://shron1.chtyvo.org.ua/Khudash_Mykhailo/Z_istorii_ukrainskoi_antroponimii.pdf (date of access 28.07.25) [in Ukrainian].

Chuchka, P.P. (2008). Antroponimiia Zakarpattia: monohrafiia [Anthroponymy of Transcarpathia: monograph]. Kyiv : TOV «Papirus». 672. [Electronic resource]. URL: <https://www.academia.edu/61453889> (access date 28.07.2025) [in Ukrainian].

Отримано: 02.08.2025
Прийнято: 05.09.2025
Опубліковано: 17.10.2025





УДК 550.34

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.13>

ГІДРОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ГЕОДИНАМІЧНОГО ТА СЕЙСМІЧНОГО СТАНУ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ

**В. В. Ігнатишин¹, Т. Й. Іжак², С. С. Молнар Д³, М. Б. Ігнатишин⁴,
А. В. Ігнатишин⁵**

Карпатський регіон, у тому числі Закарпаття, Прикарпаття та прилеглі території сусідніх країн, відзначається сейсмічною активізацією. Територія Закарпатського внутрішнього прогину періодично зазнає погіршення метеорологічного, гідрологічного та сейсмічного стану середовища. До них варто віднести паводки, буревії, проте є небезпека виникнення землетрусу. Тут можливі 7–8 бальні землетруси. Останній потужний землетрус на території Закарпаття відбувся в 1908 році поблизу м. Сваляви (Закарпатська область). Періодичність прояву сильних підземних поштовхів на території Закарпатського внутрішнього прогину становить один раз на 100 ± 30 років, тому ймовірність прояву підземної стихії зростає. Метою представленого дослідження є виявлення закономірностей прояву метеорологічного та гідрологічного стану регіону, вивчення сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оаиського глибинного розлому, просторово-

¹ кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник Відділу сейсмічності Карпатського регіону
(Інститут геофізики імені С.І. Субботіна НАН України, м. Київ);
доцент кафедри географії та туризму
(Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II, м. Берегове)
e-mail: rgstrs1962@ukr.net
ORCID: 0000-0003-0727-2132

² кандидат географічних наук, PhD, доцент, доцент кафедри географії та туризму
(Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II, м. Берегове)
e-mail: izsak.tibor@kmf.org.ua
ORCID: 0000-0002-0940-8947

³ кандидат географічних наук, PhD, доцент, доцент кафедри географії та туризму
(Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II, м. Берегове)
e-mail: molnar.d.istvan@kmf.org.ua
ORCID: 0000-0003-2959-9136

⁴ провідний інженер Відділу сейсмічності Карпатського регіону
(Інститут геофізики імені С.І. Субботіна НАН України, м. Київ)
e-mail: sitkomonika@i.ua
ORCID: 0009-0000-0154-282X

⁵ Інженер I категорії Відділу сейсмічності Карпатського регіону
(Інститут геофізики імені С.І. Субботіна НАН України, м. Київ)
e-mail: Adalbert_Ihnatisin@i.ua
ORCID: 0009-0005-0393-572X

часового розподілу регіональної та місцевої сейсмічності, встановлення взаємозв'язків між екологічним станом регіону та динамікою змін геодинамічного та сейсмічного стану навколишнього середовища. Для висвітлення результатів наукових досліджень використано результати комплексних геофізичних спостережень, що проводяться на території Карпатського регіону. Тут проводяться метеорологічні, гідрологічні, геодинамічні та мікросейсмічні спостереження на пунктах режимних геофізичних спостережень Інституту геофізики імені С.І. Субботіна НАН України. Дослідження проведено з використанням сучасних методик та технологій, порівняльного аналізу, кореляційного аналізу, математичного забезпечення, картографічних методів, методів аналізу та синтезу, інтернет-ресурсів. Розглянуто сучасні рухи кори та місцеву сейсмічність. Сейсмічність регіону підвищується в періоди, коли рухи кори представлені максимальними величинами зміщень кори. Досліджено атмосферні опади та сучасні рухи кори в регіоні та показано, що інтенсивні атмосферні опади супроводжуються стисненнями кори, оскільки поява додаткової маси на поверхні земної кори приводить до стиснення порід. Вивчено варіації атмосферних опадів в центральній частині Закарпаття та просторово-часовий розподіл регіональної та місцевої сейсмічності. Виявлено, що інтенсивні атмосферні опади протягом наступного інтервалу часу супроводжуються місцевими землетрусами. Важливо відмітити інтервали часу, що об'єднують динамічні зміни параметрів геофізичних полів та варіації параметрів гідрологічного стану в регіоні. Вперше проаналізовано фактори впливу параметрів гідрологічного стану середовища в комплексі на сейсмотектонічні процеси в сейсмонезпечному регіоні, вказано на геодинамічний аспект місцевої сейсмічності у 2024 році. Отримані в роботі результати можуть бути використані під час вивчення екологічного стану Закарпаття, Карпатського регіону, географії регіону, геофізичних характеристик сейсмонезпечних територій Землі. Методики дослідження можуть бути запропоновані на заняттях гуртків природничого спрямування в загальноосвітній школі, гуртків позашкільної освіти, в системі МАН України. Алгоритми дослідження можуть бути застосовані в роботі над курсовими та дипломними проектами вищої школи.

Ключові слова: атмосферні опади, сучасні горизонтальні рухи кори, сейсмічність регіону, землетруси, геодинамічний стан, гідрологічний стан, сейсмотектонічні процеси.

HYDROLOGICAL ASPECTS OF THE GEODYNAMIC AND SEISMIC STATE OF THE CARPATHIAN REGION

**V. V. Ignatyshyn, T. Y. Izhak, S. S. Molnar D, M. B. Ignatyshyn,
A. V. Ignatyshyn**

The Carpathian region, including Transcarpathia, Prykarpattia, and adjacent territories of neighboring countries, is characterized by seismic activity. The territory of the Transcarpathian internal depression periodically experiences deterioration in meteorological, hydrological, and seismic conditions. These include floods and storms, but there is also a risk of earthquakes. Earthquakes measuring 7–8 on the Richter scale are possible here. The last powerful earthquake in Transcarpathia occurred in 1908 near the town of Svalyava (Transcarpathian region). The frequency of strong underground tremors in the Transcarpathian internal depression is once every 100 ± 30 years, so the probability of underground disasters is increasing. The aim of this study is to identify patterns in the meteorological and hydrological conditions of the region, to study modern horizontal crustal movements in the Oash deep fault zone, the spatial and temporal distribution of regional and local seismicity, and establishing the relationships between the ecological state of the region and the dynamics of changes in the geodynamic and seismic state of the environment. The results of comprehensive geophysical observations conducted in the Carpathian region were used to highlight the results of scientific research. Meteorological, hydrological, geodynamic, and microseismic observations are carried out at the geophysical observation stations of the S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine. The research was conducted using modern methods and technologies, comparative analysis, correlation analysis, mathematical support, cartographic methods, methods of analysis and synthesis, and Internet resources. Modern crustal movements and local seismicity are considered: seismicity in the region increases during periods when crustal movements are represented by maximum values of crustal displacement, both in terms of rock compression and rock expansion. Atmospheric precipitation and modern crustal movements in the region were studied, and it was shown that intense atmospheric precipitation is accompanied by crustal compression, since the appearance of additional mass on the surface of the Earth's crust leads to rock compression. Variations in atmospheric precipitation in the central part of Transcarpathia and the spatial-temporal distribution

of regional and local seismicity were studied: it was found that intense atmospheric precipitation during the next time interval is accompanied by local earthquakes. It is important to note the time intervals that combine dynamic changes in geophysical field parameters and variations in hydrological conditions in the region. For the first time, the factors influencing the parameters of the hydrological state of the environment in combination with seismotectonic processes in a seismically hazardous region have been analyzed, and the geodynamic aspect of local seismicity in 2024 has been indicated. The results obtained in this work can be used in studying the ecological state of Transcarpathia, the Carpathian region, the geography of the region, and the geophysical characteristics of earthquake-prone areas of the Earth. The research methods can be proposed for use in natural science clubs in general education schools, extracurricular education clubs, and in the Ukrainian Academy of Sciences system. The research algorithms can be applied when working on coursework and thesis projects in higher education.

Key words: *atmospheric precipitation, modern horizontal movements of the crust, seismicity of the region, earthquakes, geodynamic state, hydrological state, seismotectonic processes.*

Вступ

Актуальність тематики проведених досліджень викликана декількома причинами, які безпосередньо впливають на екологічний стан досліджуваного регіону. Варто вказати на те, що територія Закарпаття, Прикарпаття та прилеглих територій сусідніх країн відзначається сейсмічною активізацією. Через Закарпаття пролягають елементи логістики, тут розташовано об'єкти критичної інфраструктури, погіршення роботи яких може вплинути на безпеку людей. Територія Закарпатського внутрішнього прогину періодично зазнає погіршення метеорологічного, гідрологічного та сейсмічного стану середовища. До них варто віднести паводки, буревії, проте є небезпека виникнення землетрусу. Також варто нагадати, що тут можливі 7–8 бальні землетруси. Останній потужний землетрус на території Закарпаття відбувся в 1908 році поблизу міста Сваляви Закарпатської області. Періодичність прояву сильних підземних поштовхів на території Закарпатського внутрішнього прогину становить один раз на 100 ± 30 років, тому ймовірність прояву підземної стихії зростає. Для розуміння сейсмотектоніки регіону необхідно паралельно розв'язувати декілька задач щодо геодинамічного, гідрологічного, метеорологічного та сейсмічного стану Карпатського регіону.

Представленій тематиці присвячено публікації, де розкриваються окремі сторони екологічної проблематики, де намагаються показати можливі моделі геофізичних процесів, що даватимуть більше можливостей для вивчення поставлених задач. Зокрема, на основі виконаних досліджень (Третяк і Брусак, 2020) показано, що кореляційний взаємозв'язок між горизонтальними деформаціями, визначеними за даними ГНСС, і узагальненою сейсмічністю проявляється лише в зонах субдукції, де є інтенсивна

сейсмоактивність і мають прояви постійні деформації земної кори. У (Козловський та ін., 2020) визначено взаємозв'язки між структурно-тектонічними особливостями будови центральної частини Закарпатського прогину, сучасним геодинамічним розвитком фундаменту регіону та особливостями поширення сейсмічних хвиль і формування вогнищ локальних землетрусів. У (Штогрин та ін., 2021) розглянуто особливості відображення тектонічної будови, зон розуцільнення, подрібненості порід та літологічного складу в гравімагнітних полях регіонального масштабу, а також уперше оцінено їх зв'язок зі зсувними процесами. У (Третяк і Брусак, 2022) встановлено, що деформації території Заходу України є складними і лише частково співвідносяться з відомою тектонічною будовою в регіоні. Отримані в (Ковачікова та ін., 2022) результати спрямовані на з'ясування глибинної будови та співвіднесення геоелектричних особливостей земної кори та верхньої мантії із системами розломів та родовищ різних корисних копалин і можуть бути додатковим свідченням можливих тектонічних активізаційних процесів на досліджуваній території. Епіцентр найсильнішого землетрусу опинився на розломі донегенового фундаменту, паралельного до дуги Карпат простягання, яке майже збігається з простяганням ототожненої площини розриву (Гнип, 2022). Метою досліджень у роботі (Кузьменко та ін., 2022) є обґрунтування теоретичних передумов інтерпретації геофізичного методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ). У статті (Назаревич та ін., 2022) показано наявність відносно глибокої (30–55 км) сейсмічної активності в земній корі Українського Закарпаття – у зоні занурення границі Мохо під Карпати в районі зчленування Закарпатського та Оашського глибинних розломів. У роботі (Пирієв, 2022)

показано, що передвісники УНЧ можуть бути перед землетрусами, що досягають глибин до 30 км, і цей діапазон можна вважати перспективним ефективним діапазоном виявлення передвісників землетрусів.

Аналіз просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності та варіації параметрів атмосферних опадів у 2020 р., проведений у роботі (Ігнатишин та ін., 2022), указує на високий ступінь кореляції рядів геофізичних даних: підвищення величини кількості опадів супроводжується підвищенням величини кількості зареєстрованих місцевих землетрусів у регіоні. У статті (Шевченко та ін., 2023) розглянуто традиційний і нестандартний підходи до аналізу розрахункових значень інфільтраційного живлення ґрунтових вод із використанням показника заряду електричного поля приземної атмосфери. У роботі (Лубков, 2023) показано, що найменшим деформуванням піддаються більш компактні геоструктури, а зменшення радіуса кривизни геоструктури призводить до обернено пропорційного збільшення деформування відповідної геоструктури. У статті (Хевпа та ін., 2023) представлено результати аналізу та узагальнення об'єктивних гідрогеологічних моніторингових спостережень динаміки рівнів підземних вод. Детальна інтерпретація різногенетичних та різнопорядкових структурно-морфометричних карт дала змогу виділити морфоструктури і блокові структури кристалічного фундаменту (регіональні блоки та локальні мікроблоки), що вирізняються диференційованістю тектонічних рухів та особливістю тектонічного розвитку (Іванік та ін., 2024). Аналіз просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності та сучасних горизонтальних рухів кори за весь період деформометричних спостережень у зоні Оашського глибинного розлому вказав підвищення сейсмічності регіону в інтервалах інтенсивних рухів кори (Ігнатишин та ін., 2024, а). Дослідження (Зацерковний та ін., 2024) демонструють можливості використання технології InSAR для моніторингу деформацій земної поверхні, спричинених нещодавніми землетрусами. Дослідження (Гудак та ін., 2025) закладають основу для подальшого розвитку методологічних підходів до аналізу потенційних деформацій підземних конструкцій на основі динаміки поверхні (вертикальних зміщень). У роботі (Малицький та ін., 2025) представлено метод визначення тензора сейсмічного моменту з використанням лише прямих P- і S-хвиль,

що значно підвищує точність і надійність методу. На основі структурного аналізу складок, проведеного в (Гончар, 2022), побудовано складний профіль деформації в розрізі Хуст – Івано-Франківськ (центральна частина Українських Карпат). Він характеризує розподіл деформації неспіввісного потоку за спектром параметрів: кутів осі стиснення та простого зсуву, величин горизонтального стиснення та деформаційних еліпсів. Згідно з даними, представленими у (Андрущенко та ін., 2022), в Україні та сусідніх країнах у 2021 році відбулося понад сто п'ятдесят землетрусів. Більшість із них сталася в глибокофокусному регіоні Вранча (Румунія). Точність розв'язку фокального механізму може суттєво залежати від кількості використовуваних станцій, особливо у випадку слабких землетрусів та розріджених мереж (Малицький та ін., 2025).

Сейсмічність регіону пов'язана з процесами локального стиснення гірських порід (Ігнатишин та ін., 2025). В (Ігнатишин та ін., 2024, б) показано, що на динаміку сучасних горизонтальних рухів кори суттєво впливають фактори-завади, що можуть підвищити кінематичні характеристики геодинаміки регіону та змінити процес підготовки і прояву місцевої сейсмічності. Геомеханічні процеси викликають зміни фізичних характеристик верхніх шарів земної кори, які проявляються в змінах параметрів досліджуваних геофізичних полів, параметрів радіоактивного фону середовища, зокрема гама-випромінювання (Ігнатишин та ін., 2024, в). У роботі (Ігнатишин та ін., 2024, г) досліджено зв'язок магнітного поля Землі в точці спостережень із сучасними горизонтальними рухами кори. Відзначено взаємозв'язок між динамічними характеристиками геофізичних полів та вплив фізичних характеристик гірських порід на варіацію магнітної індукції. Показано, що ефективним методом вивчення сейсмотектонічних процесів у регіоні є використання прискорення сучасних горизонтальних рухів кори (Ігнатишин та ін., 2024, д).

Метою запропонованого дослідження є виявлення закономірностей прояву метеорологічного та гідрологічного стану регіону, вивчення сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому, просторово-часового розподілу регіональної та місцевої сейсмічності, встановлення взаємозв'язків між екологічним станом регіону та динамікою змін геодинамічного та сейсмічного стану навколишнього середовища.

Для реалізації поставленої мети необхідно розв'язати завдання, що розкриватимуть зміст процесів у регіоні: дослідити варіації в часовому діапазоні кількості атмосферних опадів, зміщення точок спостереження під час сучасних горизонтальних рухів кори, часовий розподіл місцевої сейсмічності; вивчити вплив геодинаміки регіону на сейсмічний стан досліджуваних територій; дослідити зв'язок гідрологічного стану та геодинаміки регіону, зв'язок гідрологічного стану регіону та активізацію його сейсмічності; провести комплексні дослідження геофізичних процесів у сейсмонебезпечному регіоні.

Матеріал і методи

У статті для висвітлення результатів наукових досліджень поставленої тематики використано результати комплексних геофізичних спостережень, що проводяться на території Карпатського регіону, зокрема в Закарпатті та Прикарпатті. Тут проводяться метеорологічні, гідрологічні, геодинамічні та мікросейсмічні спостереження на пунктах режимних геофізичних спостережень Інституту геофізики імені С.І. Субботіна НАН України. Сучасні горизонтальні рухи кори вимірюються на пункті деформометричних спостережень «Королеве» Карпатської дослідно-методичної геофізичної та сейсмологічної партії Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики імені С.І. Субботіна НАН України. Варіації атмосферних опадів та місцевої сейсмічності отримано за результатами роботи режимної геофізичної станції «Тросник» Карпатського відділення Інституту геофізики імені С.І. Субботіна НАН України. Варто вказати, що всі пункти спостережень обладнані цифровими сейсмометрами DAS-05-06. Інформацію отримують і обробляють дистанційно в режимі реального часу. Для отримання результатів дослідження проводять оброблення матеріалів спостережень, використовуючи сучасні методики та технології, порівняльний аналіз, кореляційний аналіз, математичне забезпечення, картографічні методи, методи аналізу та синтезу, інтернет-ресурси.

Результати

На території Закарпаття систематично проводяться метеорологічні спостереження на пунктах різних державних установ: метеорологічних станціях, пунктах спостережень, галузевих метеорологічних станціях. Окремо варто виділити метеорологічні та гідрологічні спостереження, що про-

водяться на всій території Закарпатського внутрішнього прогину, які відносяться до Карпатської дослідно-методичної геофізичної та сейсмологічної партії Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. Ці пункти спостереження є трьох типів: режимні геофізичні станції, сейсмічні станції та пункти деформометричних спостережень, які розташовані сіткою й охоплюють усю територію Закарпаття. До переліку метеорологічних параметрів, за якими ведуться спостереження, варто віднести: швидкість і напрям вітру, вологість повітря, температуру повітря, атмосферний тиск і кількість атмосферних опадів. Ці параметри отримують за допомогою типових метеорологічних станцій, мікробарометрів та опадомірів, зокрема опадоміра Третьякова. У цій статті представлені результати вимірювання атмосферних опадів на режимній геофізичній станції «Тросник», яка розташована в селі Тросник Берегівського району Закарпатської області та функціонує з 1985 року. Проведено аналіз варіацій атмосферних опадів, зареєстрованих у точці спостережень (центральна частина Закарпатського внутрішнього прогину) в лютому 2024 року (рис. 1). Загальна кількість атмосферних опадів у лютому 2024 року на РГС «Тросник» становить: 32,9 мм, що відповідає середньомісячним величинам атмосферних опадів у цьому регіоні.

Аналізуючи вищенаведений графік часового розподілу атмосферних опадів у центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину, можна зробити такі висновки: у першій половині лютого 2024 року випало 24,9 мм атмосферних опадів, що становить 75,7% місячних опадів; у другій половині лютого випало 8 мм атмосферних опадів, або 24,7% місячних опадів у лютому 2024 року. Періоди прояву аномальних опадів у лютому 2024 року становить: 7–14 днів.

Сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому в досліджуваний період. У центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину в зоні Оашського глибинного розлому в штольні Замкової гори в селищі Королеве змонтовано горизонтальний кварцовий деформограф у напрямку схід – захід. База горизонтального деформометра становить 24,5 м, азимут приладу становить 80°, підсилення запису деформометра

становить 7246. За допомогою приладу можна розраховувати зміщення та деформацію порід, які є важливими даними для вивчення геодинамічного стану сейсмонезбезпечного регіону. Історія деформометричних спостережень у Закарпатті починається в 1980-х роках, коли у штольні в горі біля села Мужієве (Берегівський район, Закарпатська область) змонтували два горизонтальні деформометри базами відповідно 11 м і 20 м. За результатами деформометричних спостережень отримано картину деформацій у регіоні: стиснення в близько меридіональному напрямку, розширення в близькоширотному напрямку. Змонтована в 1989 році деформометрична станція у штольні поблизу міста Берегове складалася із двох змонтованих у взаємно перпендикулярних напрямках деформографів. Реєстрація сучасних горизонтальних рухів кори підтвердили висновки, отримані на деформографічній станції «Берегове-1».

Для вивчення картини рухів кори в центральній частині Закарпаття проводилися вимірювання зміщення кори в штольні в селищі Королеве, починаючи із 1999 року. За результатами десятилітніх спостережень встановлено розширення порід у близькоширотному напрямку і стиснення порід у – близькомеридіональному. Різнознакові рухи кори: стиснення порід у північно-західному напрямку та їх розширення в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину, тому важливо вивчення рухів кори в південно-східній частині Закарпаття. Проведено вивчення рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому в лютому 2024 року (рис. 2).

Загальна величина сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому в лютому 2024 року становить: $-5,4$ мкм (деформація породи: -220 нстр). Відмічаються коливання з періодами: 3–21 доби, 13 лютого зареєстровано точку

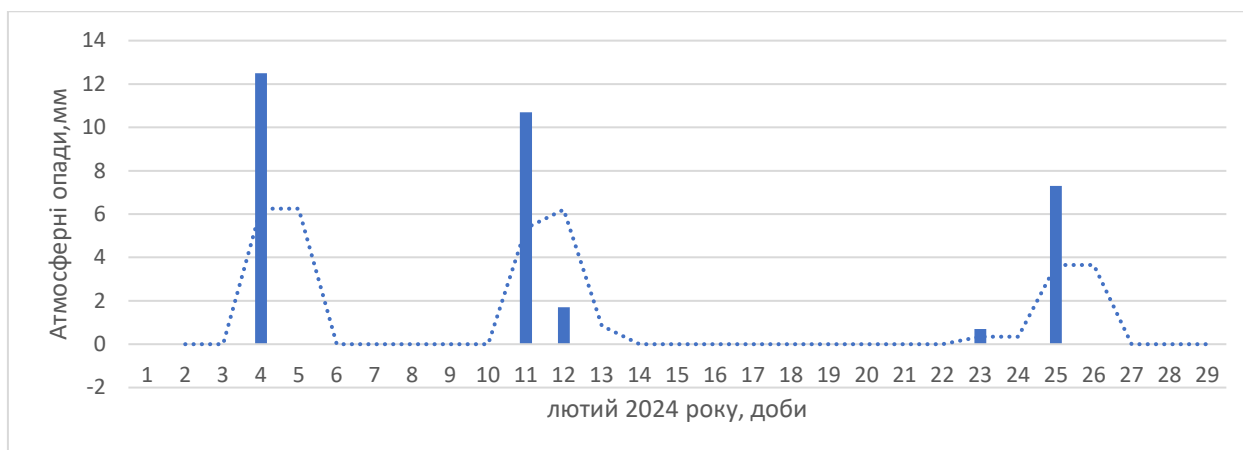


Рис. 1. Варіації кількості атмосферних опадів у центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину в лютому 2024 року



Рис. 2. Сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому в лютому 2024 року (Закарпатський внутрішній прогин)

зміни знаку рухів зі стиснення порід на інтенсивне розширення порід. Стиснення порід відбувалося із величиною: -1 мкм/добу, розширення порід відбувалося зі швидкістю $+0,65$ мкм/добу.

Сейсмічна активізація Карпатського регіону. Закарпаття визначається як сейсмонезбезпечний регіон, де відбуваються місцеві землетруси різного енергетичного класу, в тому числі відчутні підземні поштовхи. На території Закарпатського внутрішнього прогину сейсмічність підпорядковується періодичним законам. Відчутні землетруси відбуваються з частотою від 1 до 6 подій щороку на фоні сотень слабких підземних поштовхів. Просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності в лютому 2024 року представлений на рис. 3. У лютому 2024 року на території Карпатського регіону зареєстровано 20 місцевих та близьких підземних поштовхів, які охоплюють території Закарпаття, Прикарпаття та прилеглих територій сусідніх країн. Серед них виділяють серію Закарпатських землетрусів: 13.02.2024 року, 14.02.2024 року, в с. Королеве; 20.02.2024 року, м. Ужгород; 21.02.2024 року, м. Мукачево; 22.02.2024 року в м. Свалява; 28.02.2024 року, м. Мукачеве.

Більшість землетрусів відбуваються в першій половині доби, лише третина реєструється в другій половині доби. Землетруси протягом місяця розподілені серіями по три-чотири поштовхи з періодами повторюваності тривалістю приблизно одного тижня. Просторово-часовий розподіл на території Карпатського регіону представлено на рис. 4 за результатами сейсмологічного бюлетеню, підготовленого Відділом сейсмічності карпатського регіону Інституту геофізики імені С.І. Субботіна НАН України.

Епіцентри місцевих і близьких землетрусів групуються в Закарпатті та Прикарпатті, частина розподілена на території Угорщини, Словаччини та Румунії.

Сейсмічність і геодинаміка регіону. Розглянуто просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності та сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому в досліджуваний період та подано на рис. 5. Сейсмічність регіону підвищується в періоди, коли рухи кори представлені максимальними величинами зміщень кори, як стиснення порід, так і їх розширення.

Проведено розрахунок коефіцієнта кореляції параметрів сейсмічності регіону та зміщень земної кори в лютому 2024 року, який становить: $-0,2$. Інтенсивні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому передують сейсмічній активності.

Атмосферні опади та рухи кори. Проведено дослідження зв'язку варіацій атмосферних опадів та сучасних горизонтальних рухів у зоні Оашського глибинного розлому в лютому 2024 року (рис. 6).

Аналізуючи вищенаведений графік, важливо вказати на те, що інтенсивні атмосферні опади супроводжуються стисненнями кори, оскільки поява додаткової маси на поверхні земної кори приводить до стиснення порід. Розраховано коефіцієнт кореляції атмосферних опадів у регіоні та сучасними горизонтальними рухами в зоні Оашського глибинного розлому в лютому 2024 року, який становить: $0,1$.

Атмосферні опади та місцева сейсмічність. Досліджено взаємозв'язок атмосферних опадів та місцевої сейсмічності, комплексний графік часових залежностей гідрологічних та геофізичних параметрів (рис. 7).

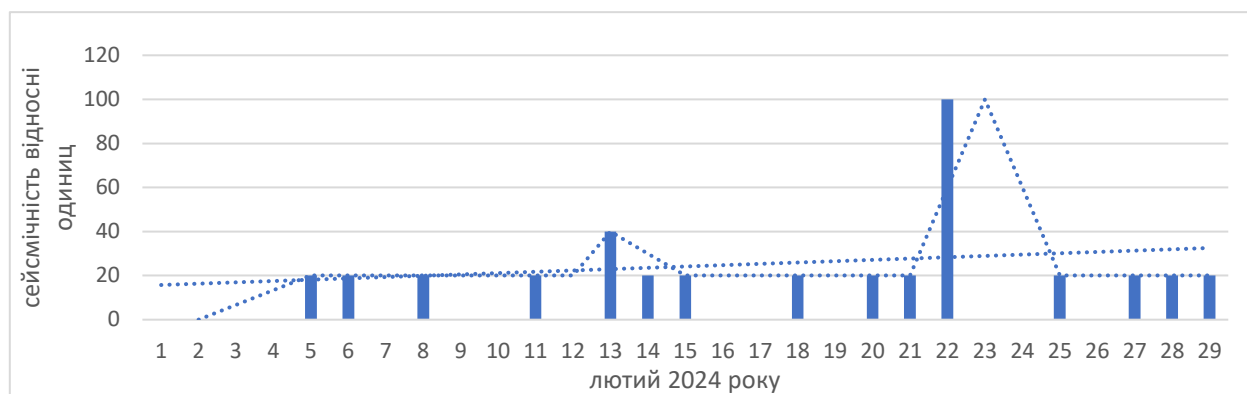


Рис. 3. Сейсмічність Карпатського регіону в лютому 2024 року



Рис. 4. Просторово-часовий розподіл сейсмічності Карпатського регіону в лютому 2025 року

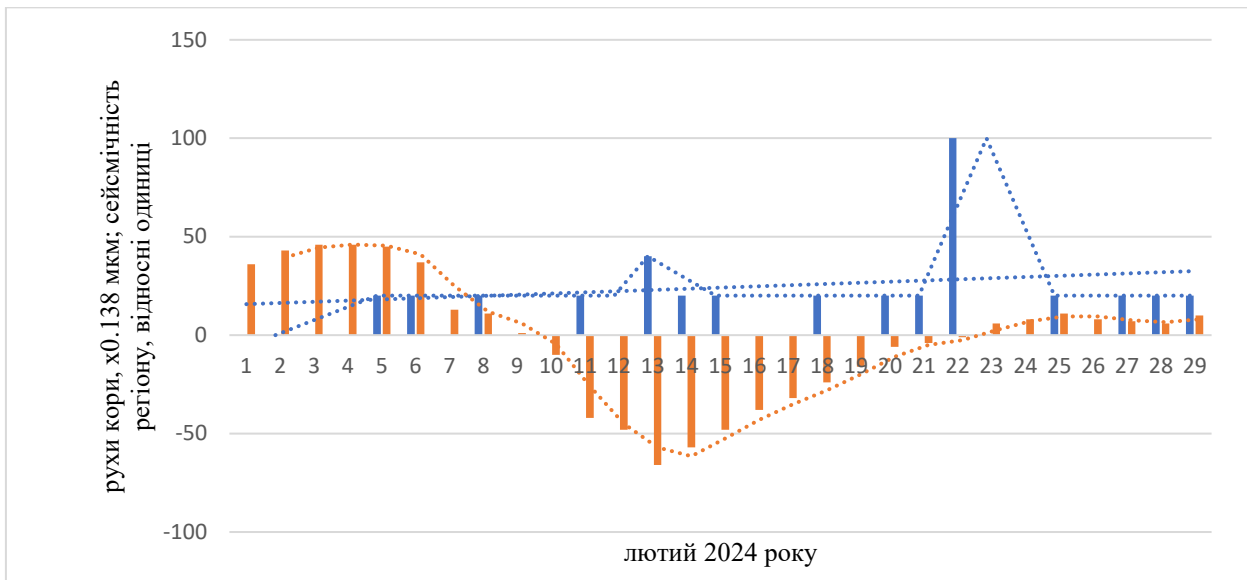


Рис. 5. Сейсмічність Карпатського регіону (діаграма синього кольору), сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому (діаграма коричневого кольору) (лютий 2024 року)

Аналіз графіку (рис. 7) доводить висновку щодо впливу атмосферних опадів на розрядку напружено-деформованого стану верхніх шарів земної кори. Інтенсивні атмосферні опади протягом наступного інтервалу часу, який дорівнює 1–2 добам,

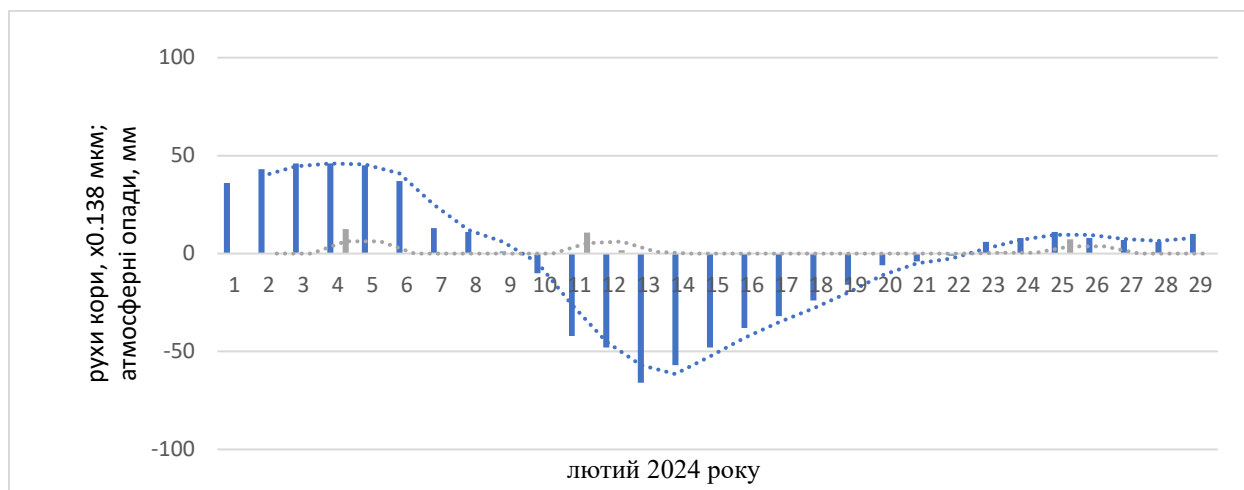


Рис. 6. Сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому (діаграма синього кольору), атмосферні опади в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину (діаграма сірого кольору) (лютий 2024 року)

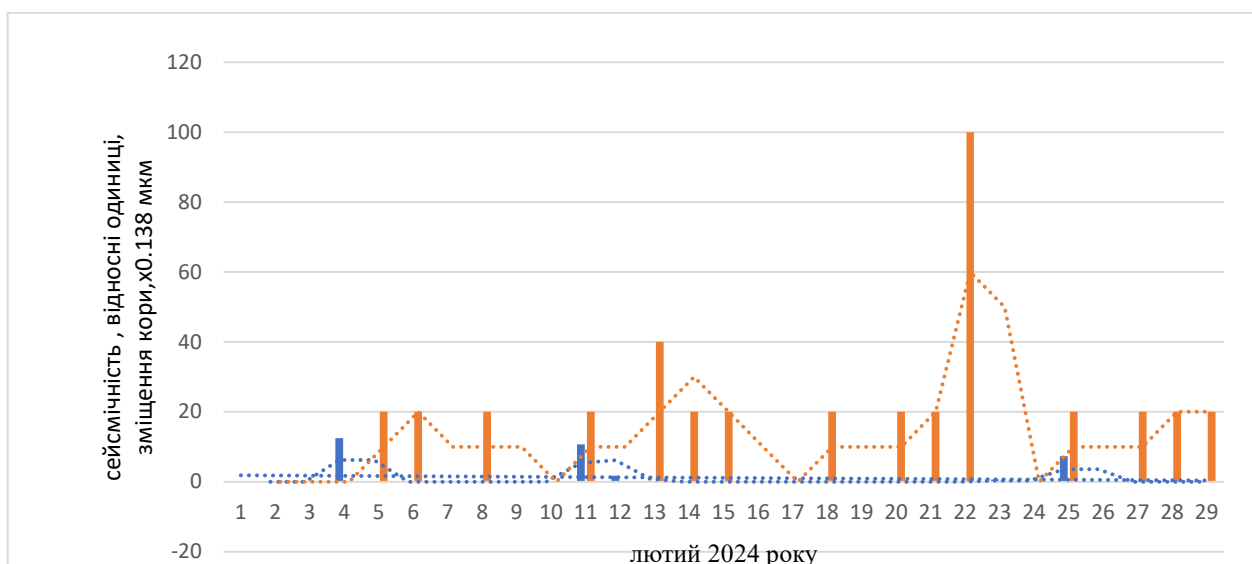


Рис. 7. Атмосферні опади в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину (діаграма синього кольору), місцева сейсмічність (діаграма коричневого кольору) (лютий 2024 року)

супроводжуються місцевими землетрусами. Розраховано коефіцієнт кореляції варіацій атмосферних опадів та місцевої сейсмічності, що дорівнює: 0.1.

Геофізичний та гідрологічний стан у регіоні. Розглянуто варіації атмосферного тиску, сучасних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому та просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності (рис. 8).

Атмосферні опади в регіоні викликають інтенсивні горизонтальні рухи кори, що своєю чергою супроводжується проявом

місцевої сейсмічності. Місцеві закарпатські землетруси відбуваються в більшості випадків у разі розширення порід на відміну від землетрусів, епіцентри яких знаходяться на більшій відстані, що відбуваються під час стиснення порід. Цей процес включає цикл акумуляції геомеханічної енергії та фазу розрядки напружено-деформованого стану порід. Таким чином, важливо відмітити інтервали часу, що об'єднують динамічні зміни параметрів геофізичних полів та варіацій параметрів гідрологічного стану в регіоні.



Рис. 8. Сейсмічність регіону (крива фіолетового кольору), атмосферні опади (діаграма сірого кольору, рухи кори (крива синього кольору) (Закарпатський внутрішній прогин) (лютий 2024 року)

Обговорення

Наукова новизна проведених спостережень і досліджень полягає в тому, що тут вперше проведено дослідження особливостей варіацій гідрологічного стану за 2024 рік, сучасних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому за вказаний період, вивчено просторово-часовий розподіл регіональної сейсмічності за вказаний відрізок часу. Проведено вивчення впливу гідрологічних параметрів на геодинаміку регіону, на прояв місцевої сейсмічності, вказано на виявлені особливості. Проаналізовано фактори впливу параметрів гідрологічного стану середовища в комплексі на сейсмотектонічні процеси в сейсмонезбезпечному регіоні, вказано на геодинамічний аспект місцевої сейсмічності. Отримані результати наукових досліджень у цій роботі важливі для поповнення геофізичної та сейсмологічної бази даних. Тут проводиться вдосконалення сучасних методик обробки та аналізу первинної інформації. Показано алгоритм дослідження впливу факторів на фундаментальні геологічні процеси в регіоні. Отримані результати можуть бути використані у вивченні екологічного стану Закарпаття, Карпатського регіону, географії регіону, геофізичних характеристик сейсмонезбезпечних територій Землі. Методика дослідження пропонується застосувати на заняттях гуртків природничого спрямування в загальноосвітній школі,

гуртків позашкільної освіти, в системі МАН України. Алгоритми дослідження пропонуються для використання під час роботи над курсовими та дипломними проектами вищої школи. Результати цього дослідження варто використати у викладанні сучасних методик і технологій організації досліджень з географії, геофізики, фізичних основ географічних явищ, геоінформаційних технологій, інформатики, розділів географії. Пропонується розширити спектр параметрів метеорологічного та гідрологічного стану регіону, а також географію досліджуваних територій, особливо зі зростанням сейсмічної активності.

Висновки

Згідно з метою роботи проведено вивчення часового розподілу атмосферних опадів у центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину за інтервал часу 2024 року та встановлено, що кількість опадів знаходиться в інтервалі можливих опадів у регіоні в зимовий період. Сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому, що знаходиться в цій частині досліджуваної території, представлені стисненнями порід, які характерні для сезонних рухів верхніх шарів земної кори в цей період. Аналіз просторово-часового розподілу регіональної та місцевої сейсмічності вказує на підвищену сейсмічну активність цього періоду 2024 року. У результаті аналізу взаємозв'язків між спостережуваними геофізичними

та метеорологічними полями виявлено гідрогеологічний аспект місцевої сейсмічності. Модель сейсмотектонічних процесів у Карпатському регіоні за досліджуваний інтервал часу представлена як послідовність гідрологічних, геодинамічних і геофізичних явищ. Інтенсивні атмосферні опади в сейсмогенеруючому регіоні викликають гідрогеологічні процеси, підняття рівня

води у водних артеріях регіону. Саме підвищені величини атмосферних опадів супроводжуються динамічними рухами кори, які представлені інтенсивними розширеннями або стисненнями її верхніх шарів. Швидкі та інтенсивні рухи акумулюють геомеханічну енергію та за певних критеріїв вивільнюються у вигляді місцевих землетрусів, що й підтверджується цими дослідженнями.

Список використаної літератури

Андрущенко Ю., Лящук О., Фарфуляк Л., Амашукелі Т., Ханієв О., Осадчий В., Петренко К., Вербицький С. Національний сейсмологічний бюлетень України за 2021 рік. *Геофізичний журнал*. 2022. 44 (6). С. 162–180. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i6.273649>.

Гнип А. Визначення різницьових координат і механізму вогнища землетрусів поблизу с. Тросник у Закарпатті протягом 2013-2015 рр. : Методичні аспекти та аналіз результатів. *Геодинаміка*. 2022. № 2(33). С. 50–63 <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.050>.

Гончар В. Значення поперечної деформаційної зональності та палінспастичні реконструкції Карпат на основі структурного аналізу складчастості. *Геофізичний журнал*. 2022. № 44 (3). С. 96–102. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i3.261975>.

Гудак В., Кріль Т., Зацерковний В. Дистанційний моніторинг вертикальних зміщень земної поверхні як індикаторів деформації підземних споруд. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2025. № 1(108). С. 94–102. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.108.13>.

Зацерковний В., Цюпа І., Остапенко Г., Де Донатіс М., Ільїн Л. Аналіз наслідків землетрусів у Туреччині 06.02.2023 за даними радіолокаційної інтерферометрії. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2024. № 2(105). С. 111–118. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.105.15>.

Іванік О., Шевчук В., Тустановська Л., Гадяцька К. Блоковий характер новітньої тектоники середнього Придністров'я на основі карт різниць базисних поверхонь. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2024. № 1(104). С. 5–12. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.104.01>.

Ігнатишин В., Малицький Д., Іжак Т., Ігнатишин М., Ігнатишин А. Моніторинг сейсмотектонічних процесів у Закарпатському внутрішньому прогині за результатами комплексних геофізичних спостережень. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2022. № 3(98). С. 42–48. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.98.05>.

Ігнатишин В., Малицький Д., Іжак Т., Молнар Д.С., Ігнатишин М., Ігнатишин А. Геодинамічний стан Закарпатського внутрішнього прогину за результатами деформометричних спостережень у регіоні. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2024а. № 1(104). С. 13–21. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.104.02>.

Ігнатишин В., Малицький Д., Купальовський Б., Іжак Т., Молнар С., Рац А., Ігнатишин М., Ігнатишин А. Геофізичні аспекти сучасних горизонтальних рухів у центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину. *Геофізичний журнал*. 2025. № 47 (2). С. 221–225. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.320370>.

Ігнатишин В.В., Іжак Т.Й., Молнар Д. С.С., Рац А.Й. Метеорологічний аспект геодинамічного стану Закарпатського внутрішнього прогину за 2021 рік. *Acta Academiae Beregsasiensis: Geographica Et Recreatio*. 2024б. № (1). С. 32–47. <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2023-1-4>.

Ігнатишин В.В., Іжак Т.Й., Молнар Д.С.С. Радіоактивний фон середовища та сучасні рухи кори в Закарпатському внутрішньому прогині: сейсмічний аспект. *Acta Academiae Beregsasiensis: Geographica Et Recreatio*. 2024в. № (2). С. 58–68. <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2023-2-5>.

Ігнатишин В.В., Малицький Д.В., Іжак Т.Й., Молнар Д.С.С., Рац А.Й., Ігнатишин А.В. Дослідження змін параметрів магнітного поля та поля деформацій у сейсмонебезпечних регіонах. *Acta Academiae Beregsasiensis: Geographica Et Recreatio*. 2024г. № (3). С. 48–58. <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2024-3-6>.

Ігнатишин В.В., Іжак Т.Й., Молнар Д.С.С. Електромагнітна емісія середовища як реакція на сейсмотектонічні процеси в сейсмогенеруючих регіонах. *Acta Academiae Beregsasiensis: Geographica Et Recreatio*. 2024д. № (4). С. 17–26. <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2024-4-2>.

Ковачікова С., Логвінов І., Тарасов В. 2D та квазі-3D геоелектричні моделі Земної кори та верхньої мантії як можливе свідчення недавньої тектонічної активності в західній частині Українського щита. *Геодинаміка*. 2022. № 1(32). С. 99–118 <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.099>.

Козловський Е.М., Максимчук В.Ю., Малицький Д.В., Тимошук В.Р., Грицай О.Д., Пиріжок Н. Взаємозв'язок структурно-тектонічних та сейсмічних характеристик Центральної частини Закарпатського прогину. *Геодинаміка*. 2020. № 1(28). С. 62–70. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2020.01.062>.

Кузьменко Е., Багрій С., Артими І., Артими В. Відображення розподілу механічних напруг в гірничих масивах у динаміці інтенсивності природного імпульсного електромагнітного поля Землі. *Геодинаміка*. 2022. № 2(33). С. 64–74. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.065>.

Лубков М. Моделювання зсувних деформацій під дією сили тяжіння. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2023. № 2(101). С. 25–30. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.101.03>.

Малицький Д., Асташкіна О., Пак Р., Гнип А., Добушовський М. Визначення параметрів вогнища землетрусу за даними обмеженої кількості сейсмічних станцій. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2025. № 2(109). С. 59–63. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.109.08>.

Малицький Д., Фойтківа Л., Малек Я., Асташкіна О., Гнип А., Добушовський М., Пак Р., Мельник М., Нікулін В., Ігнатишин В. Тензор сейсмічного моменту та механізм осередку землетрусу 22 лютого 2024 року у східній Словаччині (12:54:15 UTC, 21.75°E, 49.03°N, глибина 9 км, ML3.0). *Геофізичний журнал*. 2025. № 47 (2). С. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.322470>.

Назаревич А., Назаревич Л., Байрак Г., Пиріжок Н. Сейсмодінаміка зони перетину Оашського і Закарпатського глибинних розломів (Українське Закарпаття). *Геодинаміка*. 2022. № 2(33). С. 99–114 <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.100>.

Пирієв Р. Огляд електромагнітних моніторингових досліджень у прогнозі землетрусів: останні результати та нові перспективи. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2022. № 1(96). С. 40–45. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.96.06>.

Третяк К., Брусак І., Дослідження взаємозв'язку сейсмічності та сучасних горизонтальних зміщень за даними перманентних ГНСС-станцій у Карпато-Балканському регіоні. *Геодинаміка*. 2020. 1(28). С. 5–18. <https://doi.org/10.23939/jgd2020.01.005>.

Третяк К., Брусак І. Сучасні деформації земної кори території Заходу України за даними ГНСС мережі «GEOTERRACE». *Геодинаміка*. 2022. № 1(32). С. 16–25 <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.016>.

Хевпа З., Долін В., Яковлев Є. Оцінка розвитку деформацій земної поверхні на шахтному полі Стебницького калійного родовища за даними гідрогеологічного моніторингу. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2023. № 4(103). С. 103–110. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.103.13>

Шевченко О., Бублясь В., Ошурок Д. Аналіз геофізичних, метеорологічних та гідрогеологічних даних для пояснення невідповідностей між інфільтрацією та атмосферними опадами. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2023. № 1(100). С. 111–123. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.100.13>.

Штогрин Л., Анікеєв С., Кузьменко Е., Багрій С. Відображення активності зсувних процесів у регіональних гравітаційному та магнітному полях (на прикладі Закарпатської області). *Геодинаміка*. 2021. № 1(30). С. 65–77 <https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.065>.

References

Andrushchenko, Yu., Liashchuk, O., Farfuliak, L., Amashukeli, T., Khaniiev, O., Osadchyi, V., Petrenko, K., & Verbytskyi, S. (2022). Natsionalnyi seismolohichnyi biuletен Ukraine za 2021 rik. [National Seismological Bulletin of Ukraine for 2021]. *Heofizychnyi zhurnal [Geophysical Journal]*, 44 (6), 162–180. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i6.273649> [in Ukrainian].

Нгуп, А. (2022). Vyznachennia riznytsevykh koordynat i mekhanizmu vohnyshcha zemletrusiv poblyzu s. Trosnyk u Zakarpatti protiahom 2013-2015 rr.: Metodychni aspekty ta analiz rezultativ [Determination of differential coordinates and the mechanism of earthquake foci near the village of Trosnyk in Transcarpathia during 2013-2015: Methodological aspects and analysis of results]. *Heodynamika [Geodynamics]*. 2 (33). 50–63. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.050> [in Ukrainian].

Honchar, V. (2022). Znachennia poperechnoi deformatsiinoi zonalnosti ta palinspastychni rekonstruktsii Karpat na osnovi strukturnoho analizu skladchastosti [The significance of transverse deformation zoning and palispaistic reconstruction of the Carpathians based on structural analysis of folding]. *Heofizychnyi zhurnal [Geophysical Journal]*, 44 (3), 96–102. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i3.261975> [in Ukrainian].

Hudak, V., Kril T., & Zatserkovnyi, V. (2025). Dystantsiyni monitorynh vertykalnykh zmishchen zemnoi poverkhni yak indykatoriv deformatsii pidzemnykh sporud [Remote monitoring of vertical displacements of the earth's surface as indicators of deformation of underground structures]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology]*, 1(108), 94–102. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.108.13> [in English].

Zatserkovnyi, V., Tsiupa, I., OstapenkoH., De Donatis, M., & Ilin, L. (2024). Analiz naslidkiv zemletrusiv u Turechchyni 06.02.2023 za danymy radiolokatsiinoi interferometrii [Analysis of the consequences of earthquakes in Turkey on February 6, 2023, based on radar interferometry data]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology]*, 2 (105), 111–118. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.105.15> [in English].

Ivanik, O., Shevchuk, V., Tustanovska, L., & Hadiatska, K. (2024). Blokovi kharakter novitnoi tektoniky serednoho prydniostrovia na osnovi kart riznyts bazysnykh poverkhon [Block nature of the latest tectonics of the Middle Dniester region based on maps of base surface differences]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology]*, 1(104), 5–12. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.104.01> [in Ukrainian].

Ihnatyshyn, V., Malyskyi, D., Izhak, T., Ihnatyshyn, M., & Ihnatyshyn, A. (2022). Monitorynh seismotektonichnykh protsesiv u Zakarpatskomu vnutrishnomu prohynizarezultatamy kompleksnykh heofizychnykh sposterezhen [Monitoring of seismotectonic processes in the Transcarpathian internal trough based on the results of comprehensive geophysical observations]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology]*, 3 (98), 42–48. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.98.05> [in Ukrainian].

Ihnatyshyn, V., Malyskyi, D., Izhak, T., Molnar, D.S.S., Ihnatyshyn, M., & Ihnatyshyn, A. (2024a). Heodynamichni stan Zakarpatskoho vnutrishnoho prohynu za rezultatamy deformometrychnykh sposterezhen u rehioni [Geodynamic state of the Transcarpathian internal trough based on the results of deformational observations in the region]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology]*, 1 (104), 13–21. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.104.02> [in Ukrainian].

Ihnatyshyn, V.V., Izhak, T.Y., Molnar, D.S.S., & Rats, A.Y. (2024b). Meteorolohichni aspekt heodynamichnoho stanu Zakarpatskoho vnutrishnoho prohynu za 2021 rik [Meteorological aspect of the geodynamic state of the Transcarpathian internal trough in 2021]. *Acta Academiae Berekasiensis: Geographica Et Recreatio [Academiae Berekasiensis: Geographica Et Recreatio]*, 1, 32–47. <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2023-1-4> [in Ukrainian].

Ihnatyshyn, V.V., Izhak, T.Y., & Molnar, D.S.S. (2024c). Radioaktyvnyi fon seredovyscha ta suchasni rukhy kory v Zakarpatskomu vnutrishnomu prohyni: seismichni aspekt [Meteorological aspect of the geodynamic state of the Transcarpathian internal trough in 2021]. *Acta Academiae Berekasiensis: Geographica Et Recreatio [Acta Academiae Berekasiensis: Geographica Et Recreatio]*, 2, 58–68. <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2023-2-5> [in Ukrainian].

Ihnatyshyn, V.V., Malyskyi, D.V., Izhak T.Y., Molnar, D.S.S., Rats, A.Y., & Ihnatyshyn, A.V. (2024d). Doslidzhennia zmin parametriv mahnitnoho polia ta polia deformatsii u seismonebezpechnykh rehionakh [Study of changes in magnetic field parameters and deformation fields in seismically hazardous regions]. *Acta Academiae Berekasiensis: Geographica Et Recreatio [Acta Academiae Berekasiensis: Geographica Et Recreatio]*, 3, 48–58. <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2024-3-6> [in Ukrainian].

Ihnatyshyn, V.V., Izhak T.Y., & Molnar, D.S.S. (2024e). Elektromahnitna emisiia seredovyscha yak reaktsiia na seismotektonichni protsesy v seismoheneruiuchykh rehionakh [Electromagnetic emission of the environment as a reaction to seismotectonic processes in seismogenic regions]. *Acta Academiae Berekasiensis: Geographica Et Recreatio [Acta Academiae Berekasiensis: Geographica Et Recreatio]*, 4, 17–26. <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2024-4-2> [in Ukrainian].

Ihnatyshyn, V., Malytskyi, D., Kuplovskiy, B., Yizhak, T., Molnar, S., Rats, A., Ihnatyshyn, M., & Ihnatyshyn, A. (2025). Heofizychni aspekty suchasnykh horizontalnykh rukhiv u tsentralnii chastyni Zakarpatskoho vnutrishnoho prohynu [Geophysical aspects of modern horizontal movements in the central part of the Transcarpathian internal trough]. *Heofizychnyi zhurnal [Geophysical Journal]*, 47 (2), 221–225. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.320370> [in Ukrainian].

Kovachikova, S., Lohvinov, I., & Tarasov, V. (2022). 2D ta kvazi-3D heoelektrychni modeli Zemnoi kory ta verkhnoi mantii yak mozhyve svidchennia nedavnoi tektonichnoi aktyvnosti v zakhidnii chastyni Ukrainiskoho shchyta [2D and quasi-3D geoelectric models of the Earth's crust and upper mantle as possible evidence of recent tectonic activity in the western part of the Ukrainian Shield]. *Heodynamika [Geodynamics]*, 1 (32), 99–118. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.099> [in Ukrainian].

Kozlovskiy, E.M., Maksymchuk, V.Iu., Malytskyi, D.V., Tymoshchuk, V.R., Hrytsai, O.D., & Pyrizhok, N. (2020). Vzaiemozviazok strukturno-tektonichnykh ta seismichnykh kharakterystyk Tsentralnoi chastyny Zakarpatskoho prohynu [Interrelation between structural-tectonic and seismic characteristics of the central part of the Transcarpathian depression]. *Heodynamika [Geodynamics]*, 1 (28), 62–70. <https://doi.org/10.23939/jgd2020.01.062> [in English].

Kuzmenko E., Bahrii S., Artym I., & Artym V. (2022). Vidobrazhennia rozpodilu mekhanichnykh napruh v hirnychkykh masyvakh u dynamitsi intensyvnosti pryrodnoho impulsnoho elektromahnitnoho polia Zemli [Reflection of mechanical stress distribution in rock masses in the dynamics of the intensity of the Earth's natural pulsed electromagnetic field]. *Heodynamika [Geodynamics]*, 2 (33), 64–74. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.065> [in Ukrainian].

Lubkov, M. (2023). Moeliuvannia zsvnykh deformatsii pid diieiu syly tiazhinnia [Modeling of shear deformations under the action of gravity]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology]*, 2 (101), 25–30. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.101.03> [in Ukrainian].

Malytskyi, D., Astashkina, O., Pak, R., Hnyp, A., & Dobushovskiy, M. (2025). Vyznachennia parametriv vohnyshcha zemletrusu za danymy obmezhenoi kilkosti seismichnykh stantsii [Determination of earthquake epicenter parameters based on data from a limited number of seismic stations]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology]*, 2 (109), 59–63. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.109.08> [in Ukrainian].

Malytskyi, D., Foitikova, L., Malek, Ya., Astashkina, O., Hnyp, A., Dobushovskiy, M., Pak, R., Melnyk, M., Nikulin, V., & Ihnatyshyn, V. (2025). Tensor seismichnoho momentu ta mekhanizm oseredku zemletrusu 22 liutoho 2024 roku u skhidnii Slovachchyni (12:54:15 UTC, 21.75°E, 49.03°N, hlybyna 9 km, ML3.0) [Seismic moment tensor and mechanism of the earthquake on February 22, 2024, in eastern Slovakia (12:54:15 UTC, 21.75°E, 49.03°N, depth 9 km, ML3.0)]. *Heofizychnyi zhurnal [Geophysical Journal]*, 47 (2), 59–63. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.322470> [in Ukrainian].

Nazarevych, A., Nazarevych, L., Bairak, H., & Pyrizhok, N. (2022). Seismotektonika zony peretynu Oashskoho i Zakarpatskoho hlybynykh rozlomiv (Ukrainske Zakarpattia) [Seismotectonics of the intersection zone of the Oash and Transcarpathian deep faults (Ukrainian Transcarpathia) Seismotectonics of the intersection zone of the Oash and Transcarpathian deep faults (Ukrainian Transcarpathia)]. *Heodynamika [Geodynamics]*, 2 (33), 99–114. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.100> [in Ukrainian].

Pyriiev, R. (2022). Ohliad elektromahnitnykh monitrynhovykh doslidzhen u prohnozi zemletrusiv: ostanni rezultaty ta novi perspektyvy [Review of electromagnetic monitoring studies in earthquake prediction: latest results and new prospects]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology]*, 1 (96), 40–45. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.96.06> [in English].

Tretiak, K., & Brusak, I. (2020). Doslidzhennia vzaiemozviazku seismichnosti ta suchasnykh horizontalnykh zmishchen za danymy permanentnykh HNSS-stantsii u Karpato-Balkanskomu rehioni [Investigation of the relationship between seismicity and modern horizontal displacements based on data from permanent GNSS stations in the Carpathian-Balkan region]. *Heodynamika [Geodynamics]*, 1 (28), 5–18. <https://doi.org/10.23939/jgd2020.01.005> [in English].

Tretiak, K., & Brusak, I. (2022). Suchasni deformatsii zemnoi kory terytorii Zakhodu Ukrainy za danymy HNSS merezhi «GEOTERRACE» [Modern deformations of the Earth's crust in western Ukraine according to data from the GEOTERRACE GNSS network Modern deformations of the Earth's

crust in western Ukraine according to data from the GEOTERRACE GNSS network]. *Heodynamika [Geodynamics]*, 1 (32), 16–25. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.016> [in Ukrainian].

Khevpa, Z., Dolin, V., & Yakovliev, Ye. (2023). Otsinka rozvytku deformatsii zemnoi poverkhni na shakhtnomu poli Stebnytskoho kaliinoho rodovyshcha za danymy hidroheolohichnoho monitorynhu [Assessment of ground deformation development in the mining field of the Stebnyk potash deposit based on hydrogeological monitoring data]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology]*, 4 (103), 103–110. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.103.13> [in Ukrainian].

Shevchenko, O., Bubljas, V., & Oshurok, D. (2023). Analiz heofizychnykh, meteorolohichnykh ta hidroheolohichnykh danykh dlia poiasnennia nevidpovidnosti mizh infiltratsiieiu ta atmosfernymy opadamy [Analysis of geophysical, meteorological, and hydrogeological data to explain discrepancies between infiltration and atmospheric precipitation]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology]*, 1 (100), 111–123. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.100.13> [in Ukrainian].

Shtohryn, L., Anikeiev, S., Kuzmenko, E., & Bahrii, S. (2021). Vidobrazhennia aktyvnosti zsvnykh protsesiv u rehionalnykh hnavitatsiinomu ta mahnitnomu poliakh (na prykladi Zakarpatskoi oblasti) [Reflection of the activity of shear processes in regional gravitational and magnetic fields (on the example of Zakarpattia region)]. *Heodynamika [Geodynamics]*, 1(30), 65–77. <https://doi.org/10.23939/jgd2021.01> [in Ukrainian].

Отримано: 27.07.2025

Прийнято: 28.08.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 911.3

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.14>

МЕРЕЖА ЗАКЛАДІВ КУЛЬТУРИ ЧЕРНІВЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ: СУСПІЛЬНО-ГЕОГРАФІЧНИЙ АНАЛІЗ

Н. І. Колосівський¹

Культурна галузь відіграє одну із провідних ролей у формуванні світогляду, національної ідентичності, суспільних цінностей та соціальної згуртованості. З огляду на її значущість у житті людини постає потреба в систематичному науковому дослідженні цієї сфери. Обрана тема є особливо актуальною в умовах збройної російської агресії проти України.

Мета статті – провести аналіз динаміки та сучасного стану мережі закладів культури Чернівецької області. Методи дослідження: аналіз, синтез, описовий, узагальнення, моделювання, картографічний, порівняльно-географічний, статистичний, математичний.

Проаналізовано динаміку кількості закладів культури Чернівецької області та забезпеченості ними населення за 2013–2023 роки. Виявлено переважно скорочення мережі таких закладів. Розглянуто сучасний стан інфраструктури культурно-мистецької сфери, яка включає: бібліотеки, клубні заклади, демонстраторів фільмів, мистецькі школи, музеї, театри, філармонію, архіви тощо. Розраховано коефіцієнти локалізації та територіальної концентрації окремих закладів культури на рівні територіальних громад регіону. Результати розрахунків свідчать про нерівномірний розподіл закладів по території. До громад Чернівецької області з найнижчими значеннями інтегрального коефіцієнта локалізації закладів культури (щодо чисельності населення) відносимо Чернівецьку, Чагорську, Чудейську, Боянську та Магальську громади. Найнижчий рівень територіальної концентрації закладів (щодо площі території) спостерігається в Селятинській, Берегометській, Чудейській, Боянській і Магальській громадах. Водночас найвищі показники локалізації закладів культури характерні для Вижницької, Конятинської, Вікнянської, Усть-Путильської та Брусницької громад, а територіальної концентрації – для Новодністровської, Чернівецької, Вижницької, Неполоковецької та Кострижівської громад.

Ключові слова: соціальна інфраструктура, соціальна сфера, культура, мережа закладів культури, децентралізація, територіальні громади, Чернівецька область.

¹ аспірант кафедри географії України та регіоналістики
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: kolosivskiy.nazarii@chnu.edu.ua
ORCID: 0009-0005-8821-9772

NETWORK OF CULTURAL INSTITUTIONS OF CHERNIVTSI OBLAST: SOCIO-GEOGRAPHICAL ANALYSIS

N. I. Kolosivskyi

The cultural sector plays one of the leading roles in shaping worldview, national identity, societal values and social cohesion. Given its significance in human life, there is a need for systematic scientific research in this area. The chosen topic is especially relevant in the context of Russia's armed aggression against Ukraine.

The purpose of the article is to analyze the dynamics and current state of the network of cultural institutions in Chernivtsi Oblast. Research methods: analysis, synthesis, descriptive, generalization, modeling, cartographic, comparative-geographical, statistical, mathematical.

The article analyzes the dynamics of the number of cultural institutions in Chernivtsi Oblast and the provision of the population with them during the period 2013–2023. A reduction in the network of such institutions is predominantly observed. The current state of the infrastructure of the cultural and artistic sphere, which includes libraries, club institutions, film screening venues, art schools, museums, theaters, philharmonic hall, archives, etc., is examined. The coefficients of localization and territorial concentration of individual cultural institutions at the level of territorial communities (hromadas) of the region are calculated. The results of the calculations indicate an uneven distribution of institutions across the territory. The hromadas of Chernivtsi Oblast with the lowest values of the integral coefficient of localization of cultural institutions (relative to the number of the population) include Chernivtsi, Chahor, Chudei, Boiany and Mahala hromadas. The lowest level of territorial concentration of institutions (relative to the area of the territory) is observed in Seliatyn, Berehomet, Chudei, Boiany and Mahala hromadas. At the same time, the highest rates of localization of cultural institutions are characteristic of Vyzhnytsia, Koniatyn, Vikno, Ust-Putyla and Brusnytsia hromadas, and the highest rates of territorial concentration are characteristic of Novodnistrovsk, Chernivtsi, Vyzhnytsia, Nepolokivtsi and Kostryzhivka hromadas.

Key words: social infrastructure, social sphere, culture, network of cultural institutions, decentralization, territorial communities (hromadas), Chernivtsi Oblast.

Вступ

Важливим складником соціальної інфраструктури є мережа закладів культури. Основна її функція полягає в наданні населенню якісних культурних послуг. Заклади культури, як осередки духовного, освітнього та соціального життя, сприяють розвитку творчого потенціалу суспільства, збереженню культурної спадщини, розвитку туризму, підвищенню конкурентоспроможності регіону, створенню робочих місць, зміцненню соціальних відносин тощо. Однак ефективність їхньої діяльності значною мірою залежить від їхньої територіальної організації, доступності та відповідності потребам населення.

Проблематика формування, функціонування та розвитку сфери культури висвітлена в низці наукових праць. І.І. Косташук за допомогою рейтингової оцінки визначив територіальні відмінності в забезпеченості населених пунктів і населення закладами культури в Чернівецькій області (Косташук, 2011). С.І. Задворний розглянув суспільно-географічні аспекти децентралізації та її вплив на функціонально-компонентну, організаційно-управлінську та функціонально-територіальну структури культурно-мистецької сфери Хмельницької області

(Задворний, 2016а). Сучасний стан базової мережі закладів культури Тернопільської міської територіальної громади розкрито у праці (Задворний, 2021). О.Г. Заячук проаналізувала компонентну структуру закладів культури Чернівецької області, основні тенденції та просторові відмінності їх функціонування (Заячук, 2013). Г.О. Ламекіна дослідила комплекс культури Дніпропетровської області, його місце в загальнодержавному вимірі (Ламекіна, 2016). І.В. Черняк приділила увагу трансформації мережі публічних бібліотек під впливом реформи децентралізації (Черняк, 2022). У роботі І.І. Косташука, Р.В. Кісіля розроблено класифікацію музеїв за різними критеріями, проаналізовано музейну мережу територіальних громад Чернівецької області, з'ясовано місце музеїв в етнокультурному розвитку поліетнічного регіону (Косташук і Кісіль, 2021). Культурній галузі присвячені дисертації (Кісіль, 2002; Флінта, 2005; Моштакіна, 2011; Ситар, 2012; Задворний, 2016b) та інші.

У сучасних умовах децентралізації та широкомасштабного російського вторгнення постає необхідність в аналізі наявної мережі закладів культури регіонів України. Нерівномірність їх розміщення, брак фінансування, застаріла матеріально-технічна

база та низька якість послуг створюють суттєві виклики, які потребують комплексного подолання. Суспільно-географічні дослідження допоможуть виявити сильні та слабкі сторони, проблеми та перспективи розвитку, просторові диспропорції, оцінити рівень забезпеченості культурними послугами, а також розробити рекомендації щодо оптимізації культурної інфраструктури. Усе це сприятиме ухваленню обґрунтованих управлінських рішень, упровадженню інновацій, збалансованому розвитку та підвищенню якості життя.

Метою дослідження є проведення аналізу динаміки та сучасного стану мережі закладів культури Чернівецької області. Відповідно до мети були поставлені такі завдання:

- проаналізувати динаміку кількості закладів культури та забезпеченості ними населення Чернівецької області у 2013–2023 рр.;

- розглянути сучасний стан мережі закладів культури регіону;

- виявити відмінності в розвитку та розміщенні закладів культури на рівні територіальних громад Чернівецької області.

Матеріал і методи

Під час проведення дослідження було використано загальнонаукові та конкретно-наукові методи. Перша група методів включає такі: аналіз і синтез, описовий, узагальнення, моделювання тощо. Серед конкретно-наукових методів використовувалися такі: картографічний, порівняльно-географічний, статистичний, математичний. Інформаційною базою дослідження були матеріали Головного управління статистики в Чернівецькій області, різні літературні й інтернет-джерела.

Результати та їх обговорення

За період 2013–2023 рр. у сфері культури Чернівецької області відбулися помітні зміни. На 42 одиниці, або 10,4%, зменшилася кількість бібліотек – із 402 (59 – у міських поселеннях, 343 – у сільській місцевості) до 360 (47 і 313 відповідно). Забезпеченість населення бібліотеками знизилася із 4,43 до 4,03 на 10 тис. осіб (рис. 1). Показники забезпеченості розраховано до 2022 р., оскільки дані про чисельність населення в наступних роках відсутні. 360 публічних бібліотек Чернівецької області, які функціонували у 2023 р., за юридичним статусом поділяються на: бібліотеки – 106 (29,4%), відокремлені структурні підрозділи бібліотек (філії) – 186 (51,7%), структурні підрозділи

інших закладів культури – 52 (14,4%), публічно-шкільні бібліотеки – 2 (0,6%), відокремлені структурні підрозділи публічно-шкільних бібліотек – 14 (3,9%). З усіх бібліотек 2 (0,6%) були обласними, 45 (12,5%) – міськими та селищними, 313 (86,9%) – сільськими. 10 бібліотек, або 2,8%, призначені для дітей. Якщо розглядати стан приміщень та матеріально-технічної бази бібліотек, то 107 (29,7%) мають приміщення, до яких забезпечено безперешкодний доступ користувачів, 145 (40,3%) – копіювально-розмножувальну техніку, 32 (8,9%) – мультимедійне обладнання, 16 (4,4%) – проектори й екрани, 171 (47,5%) – комп'ютери, 125 (34,7%) – комп'ютери з доступом до мережі «Інтернет» (Мережа ..., 2024). Інформаційні послуги населенню надають також 25 бібліотечних пунктів. Важливо зазначити, що в 95 (22,8%) населених пунктах області немає стаціонарних бібліотек, а в 70 (16,8%) – бібліотечні послуги взагалі не надаються. 152 бібліотеки в 16 територіальних громадах об'єдналися у модель «Публічна бібліотека з філіями»; 41 бібліотека (3 громади) перебуває у складі централізованої бібліотечної системи; 16 бібліотек (2 громади) реорганізовано в публічно-шкільні заклади; 43 бібліотеки (9 громад) – структурні підрозділи центрів культурних послуг; 105 бібліотек (21 громада) перебувають у стані реорганізації (Проект ..., 2025).

Упродовж досліджуваного періоду суттєво скоротився бібліотечний фонд. Якщо у 2013 р. він налічував 5 837 тис. примірників, то у 2023 р. – 4 219 тис., з яких 2 450 тис. – у сільській місцевості. Відповідно показник забезпеченості населення бібліотечним фондом зменшився від 643 примірників на 100 осіб до 537, або на 16,5%. Забезпеченість міських жителів зменшилася на 12,0%, а сільських – на 19,3% (рис. 2). Питома вага книжок і журналів українською мовою становила 55% від усього бібліотечного фонду. У 2023 р. до бібліотек Чернівецької області надійшло 20,11 тис. примірників, з яких 18,75 тис. українською мовою. Водночас вибуло 513,89 тис. примірників, з них 147,88 тис. українською мовою, 352,5 тис. російською (Мережа ..., 2024).

Мережа клубних закладів регіону скоротилася із 387 до 375 (–4 у міських поселеннях і –8 у сільській місцевості), а забезпеченість ними населення – із 4,27 до 4,24 на 10 тис. осіб (див. рис. 1). До закладів культури клубного типу відносимо народні доми, будинки

культури, будинки народної творчості та дозвілля, будинки фольклору, клуби, центри культури та дозвілля, центри традиційної культури, палаци культури та мистецтва тощо. Кількість місць у цих закладах також знижувалася – з 98 тис. у 2013 р. до 91 тис. у 2023 р. (-7,1%). Щодо показників забезпеченості, то можемо спостерігати їх зменшення від 10,8 місця на 100 осіб до 10,2 (-5,4%). Основне скорочення припало на сільські населені пункти (-8 тис. місць загалом та -1 місце в розрахунку на 100 осіб), тоді як у міських поселеннях можна простежити незначне зростання показників (рис. 3). У клубних закладах Чернівецької області працюють 2 179 аматорських формувань. 1 творчий колектив має звання заслуже-

ного, 23 – зразкові, 114 – народні аматорські (Проект ..., 2025).

За 2013–2023 рр. більш ніж у 7 разів зменшилася кількість демонстраторів фільмів – з 81 (17 у міських поселеннях і 64 у сільській місцевості) до 11 (6 і 5 відповідно). Забезпеченість ними населення у 2022 р. становила 0,13 на 10 тис. осіб, що на 84,9% менше, ніж у 2013 р. (рис. 4).

Попередніми роками, незважаючи на деяке скорочення мережі музичних (-6) і художніх (-1) шкіл, простежуються тенденції до збільшення кількості та забезпеченості населення мистецькими школами, що пов'язано з утворенням 16 шкіл мистецтва (рис. 4). Початковою мистецькою освітою охоплено приблизно 7 тис. учнів,

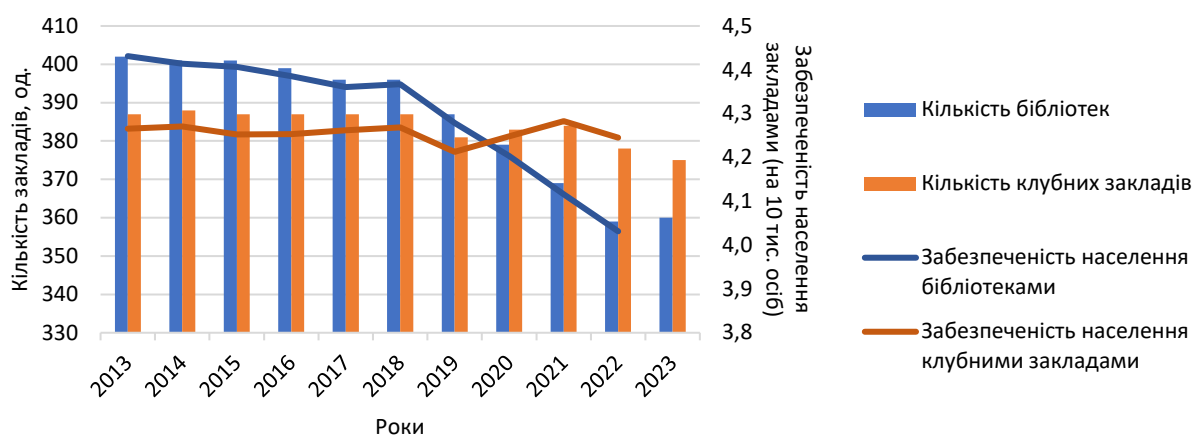


Рис. 1. Динаміка кількості бібліотек і клубних закладів і забезпеченості ними населення Чернівецької області за 2013–2023 рр. (складено за (Ротарь, 2015; Сарчинська, 2018, 2021, 2024))

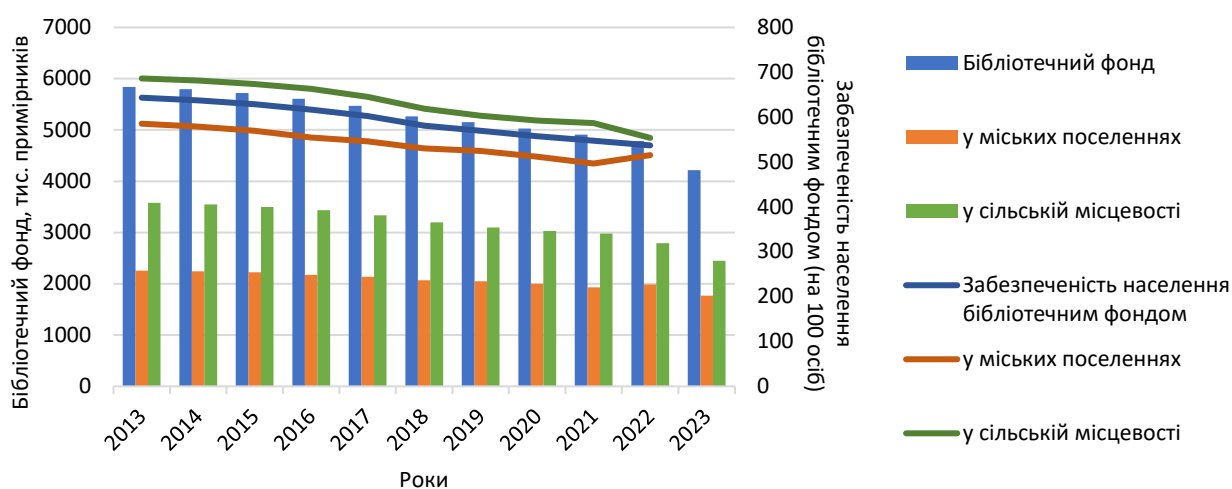


Рис. 2. Динаміка бібліотечного фонду та забезпеченості ним населення Чернівецької області за 2013–2023 рр. (складено за (Ротарь, 2015; Сарчинська, 2018, 2021, 2024))

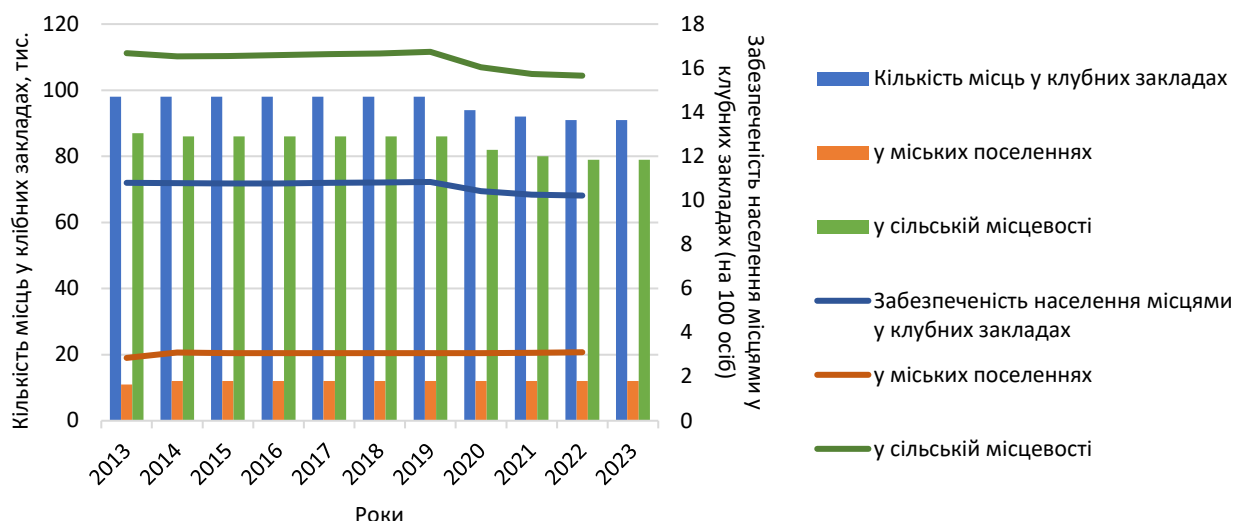


Рис. 3. Динаміка кількості місць у клубних закладах і забезпеченості ними населення Чернівецької області за 2013–2023 рр. (складено за (Ротарь, 2015; Сарчинська, 2018, 2021, 2024))

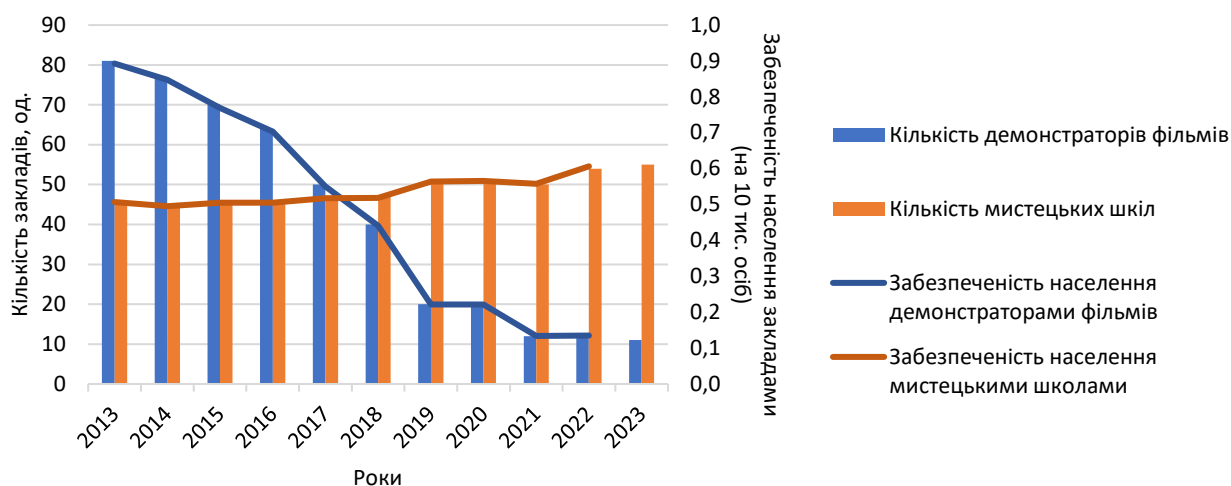


Рис. 4. Динаміка кількості демонстраторів фільмів і мистецьких шкіл та забезпеченості ними населення Чернівецької області за 2013–2023 рр. (складено за (Ротарь, 2015; Сарчинська, 2018, 2021, 2024))

які можуть продовжити здобуття мистецької освіти в системі фахової передвищої освіти, зокрема в Чернівецькому обласному фаховому коледжі мистецтв імені Сидора Воробкевича (Проект ..., 2025).

У Чернівецькій області діють 152 музеї, з яких 10 – комунальні, 1 – приватний, 141 – громадський. Серед музеїв комунальної форми власності найбільш поширеними є історичні. Таких музеїв налічується 4 одиниці. Окрім того, є 2 музеї комплексного профілю, 1 – художнього, 1 – мистецького та 2 – іншого типу. Загальна кількість експо-

натів основного фонду – 165 443. В області функціонують також 2 професійні театри (Чернівецький академічний обласний український музично-драматичний театр імені Ольги Кобилянської та Чернівецький академічний обласний театр ляльок) і філармонія (Чернівецька обласна філармонія імені Дмитра Гнатюка) (Проект ..., 2025).

Архівні установи Чернівецької області налічують 7 322 фонди та 2 148,4 тис. одиниць зберігання документів на паперовій основі. Головним закладом у регіоні є Державний архів Чернівецької області. У ньому зібрано

документи з XV ст. до сучасності. У його 18 архівосховищах зберігається 4 148 фондів (1 502,7 тис. одиниць зберігання) документів Національного архівного фонду на паперовій основі, з яких 4 104 фонди та 1 497,3 тис. одиниць зберігання управлінської документації, 44 фонди та 3,3 тис. одиниць зберігання документів особового походження, 2,1 тис. одиниць зберігання науково-технічної документації; 66,4 тис. одиниць обліку фотодокументів; 14,3 тис. одиниць обліку кінодокументів; 1,9 тис. одиниць обліку фонодокументів; 175 одиниць обліку відеодокументів; 1 одиниця обліку електронних інформаційних ресурсів. Окрім цього, зберігається 86 фондів (49,6 тис. одиниць зберігання) з кадрових питань. Також у даному архіві налічується 28 965 книг і брошур, 3 530 спеціальних видань (креслення, карти, плакати, листівки тощо), 3 438 річних підшивок газет і 824 річних комплектів журналів. Ступінь заповнення стелажного обладнання архівосховищ Державного архіву Чернівецької області становить 99,8%. З метою забезпечення повноцінного функціонування та подальшого комплектування установи потрібно збудувати новий корпус з облаштуванням громадського простору для проведення різних культурно-масових заходів. Варто також зазначити, що архів не досить забезпечений сучасними засобами для оцифрування документів, комп'ютерною та копіювальною технікою; потребують фінансування заходи із забезпечення технічного захисту інформації (Про затвердження ..., 2024).

За попередні кілька років у досліджуваному регіоні збільшилася кількість народних майстрів із традиційних ремесел, характерних для Північної Буковини та Північної Бессарабії. Основними видами народного мистецтва є: вишивка, гончарство, ткацтво, лозо- і соломоплетіння, дереворізблення, художня обробка металу та шкіри, бондарство з випалюванням, малярство, витинанкарство, писанкарство, льялькарство, нанизування прикрас із бісеру (Проект ..., 2025).

Щоб з'ясувати особливості розміщення закладів культури Чернівецької області, необхідно розрахувати коефіцієнти локалізації та територіальної концентрації. За допомогою першого з них можна продемонструвати нерівномірність розташування закладів щодо населення. Розраховується цей показник за формулою:

$$K_l = \frac{p \cdot N}{P \cdot n}, \quad (1)$$

де K_l – коефіцієнт локалізації закладів культури; p – кількість закладів у територіальній громаді; N – чисельність населення області; P – кількість закладів в області; n – чисельність населення територіальної громади. $K_l < 1$ вказує на низький рівень локалізації закладів культури; K_l близький до 1 – середній рівень; $K_l > 1$ – високий рівень.

Через наявність різних типів закладів культури наявна потреба в розрахунку інтегрального коефіцієнта локалізації за формулою:

$$IK_l = \frac{(K_{l1} + K_{l2} + K_{l3} + K_{l4})}{4}, \quad (2)$$

де IK_l – інтегральний коефіцієнт локалізації закладів культури; K_{l1} – коефіцієнт локалізації клубних закладів; K_{l2} – коефіцієнт локалізації музеїв; K_{l3} – коефіцієнт локалізації бібліотек; K_{l4} – коефіцієнт локалізації мистецьких шкіл (шкіл естетичного виховання).

Коефіцієнт територіальної концентрації характеризує розосередженість закладів по території і розраховується за формулою:

$$K_{tc} = \frac{p \cdot S}{P \cdot s}, \quad (3)$$

де K_{tc} – коефіцієнт територіальної концентрації закладів культури; p – кількість закладів у територіальній громаді; S – площа області; P – кількість закладів в області; s – площа територіальної громади. Якщо $K_{tc} < 1$, можемо говорити про низький рівень концентрації закладів культури в межах досліджуваної території; K_{tc} близький до 1 – середній рівень; $K_{tc} > 1$ – висока концентрація закладів культури.

Для розрахунку інтегрального коефіцієнта територіальної концентрації використовуємо формулу:

$$IK_{tc} = \frac{(K_{tc1} + K_{tc2} + K_{tc3} + K_{tc4})}{4}, \quad (4)$$

де IK_{tc} – інтегральний коефіцієнт територіальної концентрації закладів культури; K_{tc1} – коефіцієнт територіальної концентрації клубних закладів; K_{tc2} – коефіцієнт територіальної концентрації музеїв; K_{tc3} – коефіцієнт територіальної концентрації бібліотек; K_{tc4} – коефіцієнт територіальної концентрації мистецьких шкіл (шкіл естетичного виховання).

Розподіл окремих закладів культури Чернівецької області відображено на рис. 5. Дані про кількість клубних закладів узято з (Мережа ..., 2024), а музеїв, бібліотек і мистецьких шкіл (шкіл естетичного вихо-

вання) – з паспортів територіальних громад. Високі показники інтегрального коефіцієнта локалізації закладів бачимо у Вижницькій, Конятинській, Вікнянській, Усть-Путильській, Брусницькій, Путильській, Недобоївській, Лівинецькій, Кельменецькій, Кострижівській, Неполоковецькій, Кадубовецькій, Ставчанській, Сокирянській, Герцаївській, Вашківецькій, Тарашанській, Банилівській, Веренчанській, Новоселицькій, Ванчиковецькій, Кам'янецькій, Кіцманській і Глибоцькій громадах; середні показники – у Карапчівській, Хотинській, Рукшинській, Селятинській, Мамалигівській, Красноільській, Тереблеченській, Юрковецькій, Берегометській, Новодністровській, Сторожинецькій, Горішньошеровецькій, Кам'янській, Заставнівській, Великокучурівській, Острицькій, Сучевенській та Клішківецькій громадах; решта громад характеризується низькими показниками. Водночас високий рівень територіаль-

ної концентрації закладів спостерігається в Новодністровській, Чернівецькій, Вижницькій, Неполоковецькій, Кострижівській, Брусницькій, Недобоївській, Вікнянській, Новоселицькій, Глибоцькій, Кадубовецькій, Герцаївській, Ставчанській, Кіцманській і Вашківецькій громадах; середній рівень – у Тарашанській, Кам'янецькій, Банилівській, Кельменецькій, Карапчівській, Конятинській, Хотинській, Великокучурівській, Лівинецькій, Ванчиковецькій, Путильській, Веренчанській, Сокирянській, Острицькій, Усть-Путильській, Заставнівській, Мамалигівській і Тереблеченській громадах; у решті громад – низький рівень. З огляду на результати розрахунків можна констатувати нерівномірне розміщення закладів культури по регіону.

Висновки

Упродовж 2013–2023 рр. відбулися деякі зміни в мережі закладів культури Чернівецької області. Зменшилася кількість демонстраторів фільмів, бібліотек і біблі-

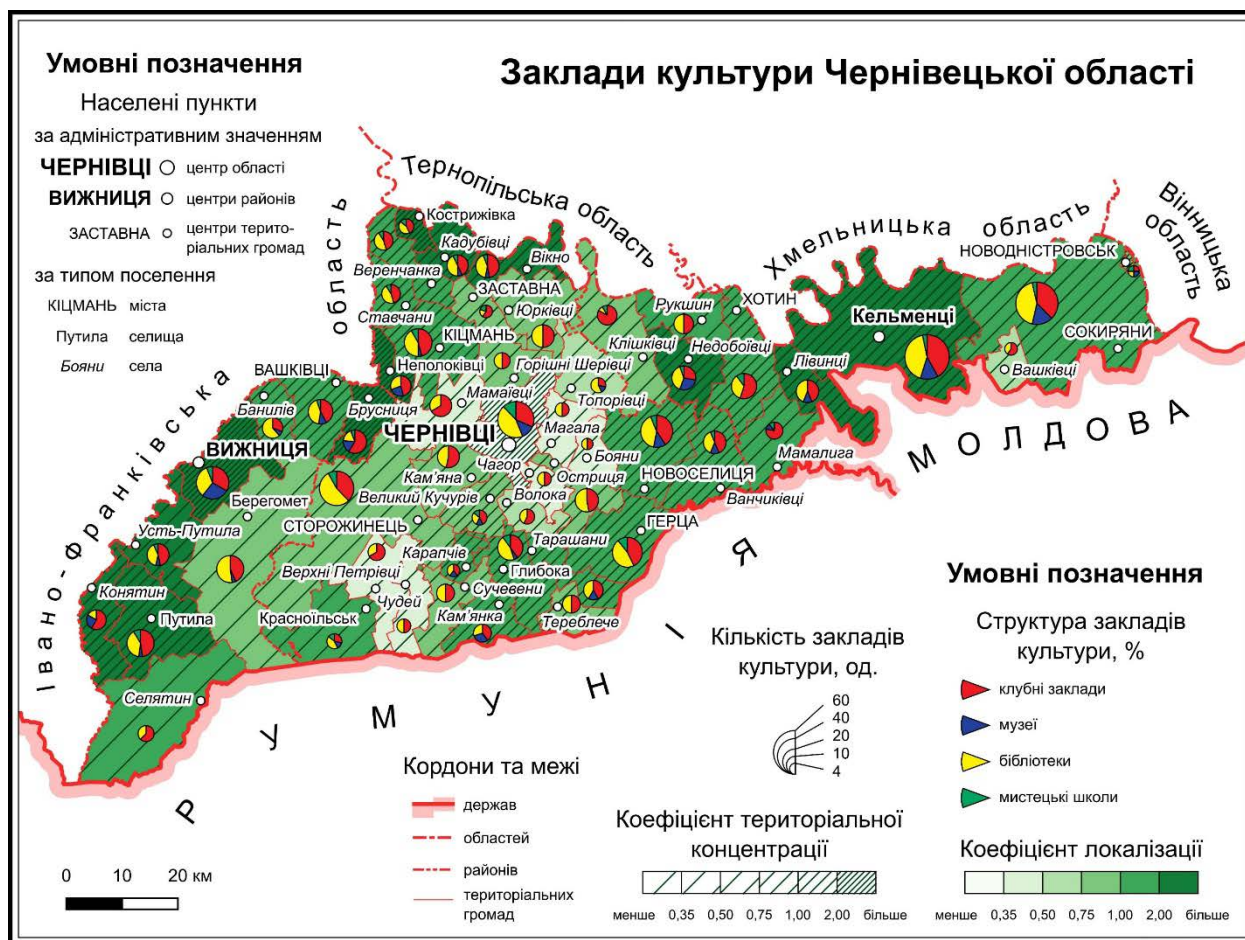


Рис. 5. Розподіл закладів культури в Чернівецькій області (складено автором)

отечного фонду, клубних закладів і місць у них, а також забезпеченість населення усім переліченим. Водночас зросла кількість мистецьких шкіл, що позитивно вплинуло на забезпеченість ними жителів регіону.

Зараз мережа закладів культури в Чернівецькій області представлена 360 бібліотеками, 375 клубними закладами, 11 демонстраторами фільмів, 28 музичними школами, 11 художніми школами, 16 школами мистецтв, Чернівецьким обласним фаховим коледжем мистецтв імені Сидора Воробкевича, 152 музеями, 2 театрами, філармонією, архі-

вами тощо. Діяльність перелічених закладів спрямована насамперед на задоволення культурних потреб населення, забезпечення його творчого та духовного розвитку.

Заклади культури Чернівецької області розосереджені нерівномірно. За середнім значенням інтегральних коефіцієнтів локалізації та територіальної концентрації лідерами є Новодністровська, Вижницька, Вікнянська, Брусницька та Неполоковецька громади. До громад-аутсайдерів відносимо Чудейську, Боянську, Магальську, Петровецьку та Мамаївську.

Список використаної літератури

Задворний С.І. Суспільно-географічні аспекти реорганізації культурно-мистецької сфери Хмельницької області в умовах децентралізації. *Наукові записки Сумського державного педагогічного університету імені А.С.Макаренка. Географічні науки*. 2016а. № 7. С. 110–117.

Задворний С.І. Суспільно-географічні особливості функціонування базової мережі закладів культури Тернопільської міської територіальної громади. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. Серія «Географія». 2021. № 2 (51). С. 91–100. <https://doi.org/10.25128/2519-4577.21.2.11>.

Задворний С.І. Територіальна організація культурно-мистецької сфери регіону (на матеріалах Хмельницької області) : дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.02. Тернопіль, 2016b. 246 с.

Заячук О.Г. Сучасний стан та особливості територіальної організації закладів культури Чернівецької області. *Науковий вісник Чернівецького університету. Географія*. 2013. № № 672–673. С. 101–105.

Кисіль Н.М. Соціально-культурна сфера: територіальна організація та особливості розвитку (на матеріалах Львівської області) : дис. ... канд. екон. наук : 08.10.01. Львів, 2002. 232 с.

Косташук І.І., Кісіль Р.В. Територіальна організація музеїв як об'єктів етнокультурного потенціалу Чернівецької області. *Географія та туризм*. 2021. № 64. С. 42–52. <https://doi.org/10.17721/2308-135X.2021.64.42-52>.

Косташук І.І. Територіальні відмінності в забезпеченості населення закладами культури в Чернівецькій області. *Науковий вісник Чернівецького університету. Географія*. 2011. № 553–554. С. 171–173.

Ламекіна Г.О. Суспільно-географічні особливості сфери культури Дніпропетровської області. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. Серія «Географія». 2016. № 1 (40). С. 83–92.

Мережа клубних закладів Чернівецької області. 2024 р. *Буковинський центр культури та мистецтва* [Електронний ресурс]. URL: <http://bukcentre.cv.ua/index.php/klubni-zaklady/informatsiina-platforma/6949-merezha-klubnykh-zakladiv-chernivetskoyi-oblasti-2024-rik.html> (дата звернення 12.03.2025).

Мережа публічних бібліотек України у 2023 р.: аналіз стану. *Міністерство культури та стратегічних комунікацій України* [Електронний ресурс]. URL: <https://mcsc.gov.ua/wp-content/uploads/2025/01/analiz-bibliotechnoyi-merezhi-2023.pptx> (дата звернення 15.03.2025).

Моштаківа Н.В. Територіальна організація сфери культури регіональної соціогеосистеми (на прикладі Луганської області) : дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.02. Харків, 2011. 441 с.

Проект Стратегії розвитку Чернівецької області на період до 2027 р. (оновлена редакція). *Чернівецька обласна військова адміністрація* [Електронний ресурс]. URL: <https://bukoda.gov.ua/storage/app/sites/23/uploaded-files/%20оновленої%20СТРАТЕГІЇ.pdf> (дата звернення 15.03.2025).

Про затвердження Програми розвитку архівної справи в Державному архіві Чернівецької області на 2024–2027 рр. : розпорядження від 27 червня 2024 р. № 585-р. *Чернівецька обласна військова адміністрація* [Електронний ресурс]. URL: <https://bukoda.gov.ua/npras/pro-zatverdzhennia-prohramy-rozvytku-arkhivnoi-spravy-v-derzhavnomu-arkhivi-chernivetskoi-oblasti-na-20242027-roku> (дата звернення 16.03.2025).

Ситар Л.Й. Стратегічні орієнтири і напрями розвитку інфраструктури сфери культури : дис. ... канд. екон. наук : 08.00.07. Львів, 2012. 224 с.

- Статистичний щорічник Чернівецької області за 2014 р. / за ред. А.В. Ротаря. Чернівці : Головне управління статистики в Чернівецькій області, 2015. 588 с.
- Статистичний щорічник Чернівецької області за 2017 р. / за ред. Т.Г. Сарчинської. Чернівці : Головне управління статистики в Чернівецькій області, 2018. 544 с.
- Статистичний щорічник Чернівецької області за 2020 р. / за ред. Т.Г. Сарчинської. Чернівці : Головне управління статистики в Чернівецькій області, 2021. 464 с.
- Статистичний щорічник Чернівецької області за 2023 р. / за ред. Т.Г. Сарчинської. Чернівці : Головне управління статистики в Чернівецькій області, 2024. 416 с.
- Флінта Н.І. Культурно-освітній комплекс регіону і його територіальна організація (на матеріалах Тернопільської області) : дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.02. Тернопіль, 2005. 197 с.
- Черняк І.В. Трансформація мережі публічних бібліотек під впливом децентралізації. *Бібліотекознавство. Документознавство. Інформологія*. 2022. № 2. С. 31–38. <https://doi.org/10.32461/2409-9805.2.2022.263828>.

References

- Zadvornyi, S.I. (2016a). Suspilno-geohrafichni aspekty reorganizatsii kulturno-mystetskoi sfery Khmelnytskoi oblasti v umovakh detsentralizatsii [Human-geographical aspects of reorganization of cultural and artistic sphere of Khmelnytskyi region in terms of decentralization]. *Naukovi zapysky Sumskoho derzhavnogo pedahohichnoho universytetu imeni A.S. Makarenka. Heohrafichni nauky [Scientific Notes of Sumy State Pedagogical University named after A.S. Makarenko. Geographical Sciences]*, 7, 110–117 [in Ukrainian].
- Zadvornyi, S.I. (2021). Suspilno-geohrafichni osoblyvosti funktsionuvannia bazovoi merezhi zakladiv kultury Ternopilskoi miskoi terytorialnoi hromady [Human-geographical features of functioning of the basic network of cultural institutions of Ternopil city territorial community]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Serii: Heohrafiia [Scientific Notes of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Geography]*, 2 (51), 91–100. <https://doi.org/10.25128/2519-4577.21.2.11> [in Ukrainian].
- Zadvornyi, S.I. (2016b). Terytorialna orhanizatsiia kulturno-mystetskoi sfery regionu (na materialakh Khmelnytskoi oblasti) [Territorial organization of cultural and artistic sphere of the region (on materials of Khmelnytskyi region)] (Publication No. 0416U003884) [Candidate's thesis, Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University]. National Repository of Academic Texts. <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0416U003884> [in Ukrainian].
- Zayachuk, O.H. (2013). Suchasnyi stan ta osoblyvosti terytorialnoi orhanizatsii zakladiv kultury Chernivetskoi oblasti [Cultural institutions the Chernivtsi oblast: present-day state and peculiarities of territorial organization]. *Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu. Heohrafiia [Scientific Bulletin of Chernivtsi University. Geography]*, 672–673, 101–105 [in Ukrainian].
- Kysil, N.M. (2002). Sotsialno-kulturna sfera: terytorialna orhanizatsiia ta osoblyvosti rozvytku (na materialakh Lvivskoi oblasti) [Social and cultural sphere: territorial organization and peculiarities of the development (on the materials of Lviv region)] (Publication No 0402U001237) [Candidate's thesis, Ukrainian State Forestry University]. National Repository of Academic Texts. <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0402U001237> [in Ukrainian].
- Kostaschuk, I.I., & Kysil, R.V. (2021). Terytorialna orhanizatsiia muzeiv yak ob'ektiv etnokulturnoho potentsialu Chernivetskoi oblasti [Territorial organization of museums as objects of ethnocultural potential of Chernivtsi oblast]. *Heohrafiia ta turyzm [Geography and Tourism]*, 64, 42–52. <https://doi.org/10.17721/2308-135X.2021.64.42-52> [in Ukrainian].
- Kostaschuk, I.I. (2011). Terytorialni vidminnosti v zabezpechenosti naselennia zakladamy kultury v Chernivetskii oblasti [Territorial differences in the provision of cultural institutions to the population in Chernivtsi region]. *Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu. Heohrafiia [Scientific Bulletin of Chernivtsi University. Geography]*, 553–554, 171–173 [in Ukrainian].
- Lamekina, H.O. (2016). Suspilno-geohrafichni osoblyvosti sfery kultury Dnipropetrovskoi oblasti [The socio-geographical features of the sphere of culture of the Dnepropetrovsk region]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Serii: Heohrafiia [Scientific Notes of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Geography]*, 1 (40), 83–92 [in Ukrainian].
- Merezha klubnykh zakladiv Chernivetskoi oblasti. 2024 rik. *Bukovynskyi tsentr kultury ta mystetstva [Network of club establishments of Chernivtsi region. 2024. Bukovyna Center of*

Culture and Arts]. [Electronic resource] URL: <http://bukcentre.cv.ua/index.php/klubni-zaklady/informatsiina-platforma/6949-merezha-klubnykh-zakladiv-chernivetskoyi-oblasti-2024-rik.html> (access date 12.03.2025) [in Ukrainian].

Merezha publichnykh bibliotek Ukrainy u 2023 rotsi: analiz stanu. *Ministerstvo kultury ta stratehichnykh komunikatsii Ukrainy* [The network of public libraries of Ukraine in 2023: analysis of the state. *Ministry of Culture and Strategic Communications of Ukraine*]. [Electronic resource] URL: <https://mcsc.gov.ua/wp-content/uploads/2025/01/analiz-bibliotechnoyi-merezh-2023.pptx> (access date 15.03.2025) [in Ukrainian].

Moshtakova, N.V. (2011). Terytorialna orhanizatsiia sfery kultury rehionalnoi sotsioheosystemy (na prykladi Luhanskoi oblasti) [Territorial organization of sphere of culture of regional sociogeosystem (based on the Lugansk region)] (Publication № 0411U005986) [Candidate's thesis, V.N. Karazin Kharkiv National University]. National Repository of Academic Texts. <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0411U005986> [in Ukrainian].

Proiekt Stratehii rozvytku Chernivetskoï oblasti na period do 2027 roku (onovlena redaktsiia). *Chernivetska oblasna viiskova administratsiia* [Draft Development Strategy of Chernivtsi Region for the period until 2027 (updated version). *Chernivtsi Oblast Military Administration*]. [Electronic resource] URL: <https://bukoda.gov.ua/storage/app/sites/23/uploaded-files/%20оновленої%20СТРАТЕГІЇ.pdf> (access date 15.03.2025) [in Ukrainian].

Pro zatverdzhennia Prohramy rozvytku arkhivnoi spravy v Derzhavnomu arkhivi Chernivetskoï oblasti na 2024–2027 roky: rozporiadzhennia № 585-r. *Chernivetska oblasna viiskova administratsiia* [On approval of the Program for the Development of Archival Affairs in the State Archives of Chernivtsi Region for 2024–2027: Order № 585-r. *Chernivtsi Oblast Military Administration*]. [Electronic resource] URL: <https://bukoda.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennia-prohramy-rozvytku-arkhivnoi-spravy-v-derzhavnomu-arkhivi-chernivetskoï-oblasti-na-20242027-roky> (access date 16.03.2025) [in Ukrainian].

Sytar, L.Y. (2012). Stratehichni oriientyry i napriamy rozvytku infrastruktury sfery kultury [Strategic guidance and direction of infrastructure for culture] (Publication № 0412U006562) [Candidate's thesis, Private Higher Educational Institution "Lviv University of Business and Law"]. National Repository of Academic Texts. <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0412U006562> [in Ukrainian].

Rotar, A.V. (ed.) (2015). Statystychnyi shchorichnyk Chernivetskoï oblasti za 2014 rik [Statistical Yearbook of Chernivtsi Oblast for 2014]. Chernivtsi: Main Department of Statistics in Chernivtsi Oblast [in Ukrainian].

Sarchynska, T.H. (ed.) (2018). Statystychnyi shchorichnyk Chernivetskoï oblasti za 2017 rik [Statistical Yearbook of Chernivtsi Oblast for 2017]. Chernivtsi: Main Department of Statistics in Chernivtsi Oblast [in Ukrainian].

Sarchynska, T.H. (ed.) (2021). Statystychnyi shchorichnyk Chernivetskoï oblasti za 2020 rik [Statistical Yearbook of Chernivtsi Oblast for 2020]. Chernivtsi: Main Department of Statistics in Chernivtsi Oblast [in Ukrainian].

Sarchynska, T.H. (ed.) (2024). Statystychnyi shchorichnyk Chernivetskoï oblasti za 2023 rik [Statistical Yearbook of Chernivtsi Oblast for 2023]. Chernivtsi: Main Department of Statistics in Chernivtsi Oblast [in Ukrainian].

Flinta, N.I. (2005). Kulturno-osvitnii kompleks rehionu i yoho terytorialna orhanizatsiia (na materialakh Ternopilskoi oblasti) [Cultural-educational region complex and its territorial organization (on materials of Ternopil region)] (Publication № 0406U000883) [Candidate's thesis, Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University]. National Repository of Academic Texts. <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0406U000883> [in Ukrainian].

Cherniak, I.V. (2022). Transformatsiia merezhi publichnykh bibliotek pid vplyvom detsentralizatsii [Transformation of the network of public libraries under the influence of decentralization]. *Bibliotekoznavstvo. Dokumentoznavstvo. Informolohiia* [Library Science. Record Studies. Informology], 2, 31–38. <https://doi.org/10.32461/2409-9805.2.2022.263828> [in Ukrainian].

Отримано: 14.07.2025

Прийнято: 08.09.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 911.3:316.4 + 005.94
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.15>

НАУКОВІ ПІДХОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТТЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЯК СУСПІЛЬНО-ГЕОГРАФІЧНОЇ КАТЕГОРІЇ

I. I. Костащук¹, С. В. Миронюк²

У статті розглянуто особливості визначення поняття «інтелектуальний потенціал» як суспільно-географічної категорії. Проаналізовано наукові праці в галузі економіки, соціології, педагогіки, соціології та психології з метою всебічного розуміння даного поняття як важливого ідентифікатора економічного та суспільного розвитку окремих територіальних громад чи районів, областей в умовах децентралізації та війни. Визначено місце інтелектуального потенціалу у збереженні економічної та соціальної безпеки, як складників національної безпеки в сучасних умовах.

У сучасних умовах стрімких трансформацій інформаційного суспільства й інтелектуалізації регіонального розвитку зростає актуальність дослідження інтелектуального потенціалу як важливого чинника суспільно-географічних процесів. Незважаючи на зростання кількості публікацій на цю тему, поняття інтелектуального потенціалу досі не має усталеного трактування у вітчизняній географічній науці.

Метою підготовки статті є систематизація наукових підходів до визначення сутності інтелектуального потенціалу й обґрунтування доцільності його розгляду як окремої суспільно-географічної категорії.

У дослідженні використано такі методи, як порівняльно-аналітичний аналіз наукових джерел, систематизація термінологічного апарату, логіко-теоретичне узагальнення, а також елементи системного та структурно-функціонального підходів.

У результаті дослідження визначено основні наукові парадигми трактування інтелектуального потенціалу – економічну, соціологічну, освітню та географічну; здійснено їх зіставлення та акцентовано на специфіці просторового виміру цього поняття. Запропоновано авторське визначення інтелектуального потенціалу як просторово організованого комплексу людських ресурсів із високим рівнем освіченості, знанцевої активності та здатності до інноваційного розвитку.

Наукова новизна полягає в уточненні змісту категорії «інтелектуальний потенціал» у контексті просторової диференціації та регіонального розвитку. Практична значущість полягає в можливості застосування результатів дослідження для оцінювання інтелектуальних ресурсів територій, планування освітньої та інноваційної політики на регіональному рівні.

Ключові слова: освіта, війна, децентралізація, територіальна громада, соціальна сфера, національна безпека.

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: myroniuk.stanislaw@chnu.edu.ua
ORCID: 0009-0000-3748-7789

SCIENTIFIC APPROACHES TO DEFINING THE CONCEPT OF INTELLECTUAL POTENTIAL AS A SOCIO-GEOGRAPHICAL CATEGORY

I. I. Kostashchuk, S. V. Myroniuk

This article examines the features of the definition of the concept of “intellectual potential” as a socio-geographic category. Scientific works in the field of economics, sociology, pedagogy, sociology and psychology are analyzed in order to comprehensively understand this concept as an important identifier of the economic and social development of individual territorial communities or regions, oblasts in conditions of decentralization and war. The place of intellectual potential in maintaining economic and social security as components of national security in modern conditions is determined.

In today’s conditions of rapid transformations of the information society and intellectualization of regional development, the relevance of researching intellectual potential as an important factor in socio-geographic processes is growing. Despite the growing number of publications on this topic, the concept of intellectual potential still does not have a well-established interpretation in domestic geographical science.

The purpose of the article is to systematize scientific approaches to determining the essence of intellectual potential and justify the feasibility of considering it as a separate socio-geographic category.

The study used such methods as comparative and analytical analysis of scientific sources, systematization of the terminological apparatus, logical and theoretical generalization, as well as elements of systemic and structural-functional approaches.

As a result of the study, the main scientific paradigms of the interpretation of intellectual potential were identified – economic, sociological, educational and geographical; they were compared and the specifics of the spatial dimension of this concept were emphasized. The author’s definition of intellectual potential as a spatially organized complex of human resources with a high level of education, knowledge activity and ability to innovative development was proposed.

The scientific novelty lies in clarifying the content of the category “intellectual potential” in the context of spatial differentiation and regional development. The practical significance lies in the possibility of applying the research results to assess the intellectual resources of territories, planning educational and innovation policies at the regional level.

Key words: education, war, decentralization, territorial community, social sphere, national security.

Вступ

Інтелектуальний потенціал нині розглядається як один із ключових ресурсів розвитку суспільства й економіки. З переходом до інформаційної епохи знання та інтелект набули пріоритету над традиційною матеріальною економікою. Якщо в індустріальній економіці головну роль відігравали природні ресурси й капітал, то нині визначальним чинником є інтелектуальний капітал (Stewart, 1997), який включає в себе інтелектуальний розвиток та інтелектуальний потенціал. У результаті інтелектуальний потенціал нації, як сукупна здатність суспільства до генерації та використання знань, став фундаментом прогресивного розвитку суспільства.

Поняття «інтелектуальний потенціал» уживають у різних галузях – соціології, економіці, філософії, педагогіці, психології, освіті, географії та інших. Кожна дисципліна акцентує окремі грані цього феномену: від колективної інтелектуальної спроможності суспільства до індивідуальних когнітивних здібностей. Водночас міждисциплінарні дослідження сходяться на думці, що розвиток інтелектуального потенціалу

є вирішальним для інновацій, конкурентоспроможності та добробуту, зокрема якості життя населення.

Нині, коли Україна перебуває у стадії війни з РФ, а також відбувається процес децентралізації, безумовно, важливим аспектом розвитку територіальних громад в усіх регіонах є їхній інтелектуальний потенціал та інші економічні ресурси (земля, праця, капітал тощо). Саме в період післявоєнної відбудови важливим чинником економічного та соціального відновлення та зростання буде наявність висококваліфікованих працівників із високим рівнем освіти, зокрема й професійної, умінь, знань, навичок та іншого. Тому розуміння інтелектуального потенціалу територіальних громад є досить важливим і перспективним напрямом наукових досліджень.

Матеріал і методи

У процесі дослідження інтелектуального потенціалу було використано міждисциплінарний підхід, що включав аналіз наукових джерел з галузей соціології, економіки, філософії, педагогіки, психології, географії, а також управління та адміністрування, менеджменту. Основу джерельної бази ста-

новили наукові публікації вітчизняних і зарубіжних авторів за період 1990–2024 рр., а саме монографії, навчальні посібники та наукові статті, опубліковані в міжнародних науково-метричних базах “Scopus”, “Web of Science”, фахових виданнях України категорії «Б», інші статті, а також нормативно-аналітичні документи ООН, ЮНЕСКО, Світового банку, ЄС, Національного інституту стратегічних досліджень та Національної академії наук України.

У дослідженні використано системний підхід, що дозволив розглядати інтелектуальний потенціал як складне багаторівневе явище. Основними методами, що використані під час даного дослідження, були: структурно-функціональний аналіз (для виявлення компонентів інтелектуального потенціалу), порівняльно-аналітичний метод (для зіставлення трактувань поняття в різних наукових школах), контент-аналіз публікацій (для виявлення спільних і відмінних рис трактування даного поняття) та інші.

Результати та їх обговорення

Ідеї про визначальну роль інтелекту в розвитку суспільства мають глибоке коріння. Ще на початку ХХ ст. у філософських концепціях (наприклад, В. Вернадського) з'явилася думка про ноосферу як сферу людського розуму, хоча сам термін «інтелектуальний потенціал» тоді не вживався. У другій половині ХХ ст., із зростанням ролі в суспільстві й економіці науки й технологій, наближені до інтелектуального потенціалу поняття почали вживатися як наукові категорії. Так, економісти США, нобелівські лауреати Т. Шульц і Г. Беккер запровадили теорію людського капіталу (1960-ті рр.), що оцінює знання та навички людей як форму капіталу. Паралельно в західноєвропейській країнах розвивалася ідея «суспільства знань» (Ф. Махлуп, П. Друкер, Д. Белл та інші), що підкреслювала зростання значення інформації, освіти й наукового потенціалу в економічному розвитку будь-якого регіону, держави чи світу загалом. Зокрема, економіст Ф. Махлуп у 1962 р. здійснив обчислення «виробництва знань» в економіці США, а соціолог Д. Белл у книзі «Настання постіндустріального суспільства» (1973 р.) обґрунтував зміщення економічного центру ваги до знання та інформації.

У вітчизняній науці близькими були поняття «науково-технічний потенціал» та «інтелектуальні ресурси», якими оперували в контексті вивчення науково-технічної революції. Після здобуття Україною

незалежності увага змістилася до проблем розвитку національного інтелектуального потенціалу як чинника інтеграції зі світовою економічною системою. Уже на початку 2000-х рр. українські вчені (В. Геєць, Б. Патон, В. Куценко, Б. Маліцький, Є. Марчук, А. Жарінова й інші) активно досліджували формування та використання інтелектуального потенціалу, спираючись як на власні наукові дослідження, так і на значний доробок зарубіжних учених, переважно економістів.

Історичні оцінки інтелектуального потенціалу суспільств проводились через якісні аналізи та кількісні показники. Цікавим є приклад пізнього періоду Радянського Союзу, коли обчислений індекс – «коєфіцієнт інтелектуалізації молоді» продемонстрував падіння Союзу із 3-го місця у світі (1950-ті рр.) на 57-ме (станом на 1987 р.). Цей спад відображав системні проблеми формування та відтворення інтелектуальних ресурсів, що згодом проявилось в масовій еміграції молодих перспективних науковців і фахівців за кордон, що дістала назву «міграція сірої речовини», або «відплив умів». Отже, історичний досвід засвідчує, що без належної уваги до розвитку й утримання інтелектуального потенціалу жодне суспільство не може забезпечити стійкий суспільний, економічний, культурний, інформаційний розвиток.

Найбільш вивченим поняття «інтелектуальний потенціал» є серед економістів (табл. 1).

Економіка, а також суміжні науки – управління та адміністрування, менеджмент організацій, підходять до інтелектуального потенціалу з погляду ресурсів, що забезпечують інновації, продуктивність і конкурентоспроможність підприємств (Жарінова, 2013). У цьому контексті інтелектуальний потенціал часто розглядається як початкова база для формування інтелектуального капіталу, який охоплює знання, уміння, досвід працівників (людський капітал), а також нематеріальні активи організацій (патенти, технології, бренди, ноу-хау, ділову репутацію). Варто відмітити, що в сучасних дослідженнях інтелектуальний потенціал підприємства (компанії) – це поєднання здібностей носіїв знань (персоналу) і спроможності самої компанії створювати умови для реалізації цих здібностей, їхнього розвитку та перетворення на активи (Лапотков, 2024).

Варто зазначити, що на рівні організації вчені-економісти виділяють різні компоненти інтелектуального потенціалу підпри-

Визначення поняття «інтелектуальний потенціал» як економічної категорії

№	ПІБ вченого	Країна	Визначення	Посилання [A1; A2]
1	Валерій Михайлович Геєць; Володимир Петрович Семиноженко.	Україна	Сукупність знань, досвіду, умінь і здібностей, що формують основу інноваційної економіки.	(Геєць і Семиноженко, 2006)
2	Світлана Валеріївна Філіппова; Ксенія Валеріївна Ковтуненко.	Україна	Система взаємодії знань, освітньо-наукового простору й інтелектуального капіталу.	(Філіппова і Ковтуненко, 2013)
3	Борис Сергійович Бутнік-Сіверський; Вікторія Федорівна Тищенко.	Україна	Сукупна здатність суспільства продукувати нові знання і трансформувати їх у соціально-економічний розвиток регіонів чи держав.	(Бутнік-Сіверський, 2003; (Тищенко, 2014)
4	Володимир Андрійович Ткаченко	Україна	Економічна категорія, що відображає можливість реалізації інноваційного капіталу.	(Ткаченко, 2008)
5	Томас Алезандер Стюарт	США	Невидимі активи, що здатні створювати додану вартість у майбутньому.	(Stewart, 1997)
6	Нік Бонтіс	Канада	Знання, інформація, інтелектуальні власності та досвід, які можна застосувати для створення багатства.	(Bontis, 1999)
7	Лейф Едвінссон; Майкл Стіварт Мелон.	Швеція	Потенціал компанії, зосереджений в її людях, процесах і стратегіях, що ще не став капіталом.	(Edvinsson & Malone, 1997)
8	Борис Андрійович Маліцький; Олександр Сергійович Попович.	Україна	Сукупність науково-технологічного й освітнього ресурсів, здатних забезпечити перехід до економіки знань.	(Маліцький і Попович, 2005; Попович, 2005)
9	Йоган Руус, Гьоран Руус, Нікола Карло Драгонетті; Лейф Едвінссон.	Швеція	Потенціал до створення цінності завдяки інтелектуальній діяльності працівників.	(Roos et al., 1997)
10	Світлана Володимирівна Сіденко	Україна	Сукупність знань, досвіду, інноваційного середовища, що сприяє підвищенню продуктивності.	(Сіденко, 2023)
11	Карл-Ерік Свейбі	Австралія / Швеція	Невидимі активи, пов'язані зі знаннями працівників, які можуть бути використані у процесі створення вартості.	(Sveiby, 1997)
12	Ікуджіро Нонака, Хіротака Такеучі.	Японія	Здатність організації створювати нові знання та поширювати їх усередині компанії.	(Nonaka & Takeuchi, 1995)
13	Макс Генрі Буазо	Велика Британія	Ефективне розповсюдження та засвоєння знань в економічному середовищі.	(Boisot, 1998)
14	Пітер Фердинанд Друкер	США	Головний економічний ресурс епохи інформації, що перевершує капітал і працю.	(Drucker, 1993)
15	Домінік Форє	Франція / Швейцарія	Основа для формування економіки знань, що базується на інтелектуальних ресурсах.	(Foray, 2004)
16	Йосиф Степанович Ситник	Україна	Приховані знання та навички економічної системи для здійснення інтелектуальної, організаційної, технічної, наукової, соціальної, управлінської діяльності, які можуть реалізуватися у формі інтелектуального капіталу на ринкових засадах.	(Ситник, 2012)

ємства. Наприклад, для IT-компаній запропоновано таку структуру:

– первинні компоненти – це знання і навички персоналу, а саме їхні професійні компетенції та технічні знання, корпоративна культура й командний дух, мережа зв'язків і партнерство, науково-дослідна діяльність тощо;

– вторинні компоненти – це насамперед результати реалізації знань, до яких відносять об'єкти інтелектуальної власності (патенти, авторські права), ділову репутацію, бренд компанії, технології та рішення, інноваційні продукти, що були створені на основі первинного потенціалу (Лапотков, 2024).

Таке розмежування підтверджує думку, що інтелектуальний потенціал є багатоаспектним і охоплює як ресурсний складник (людські й інформаційні ресурси), так і результативний складник (інтелектуальний продукт і активи).

Економіко-географічні дослідження вводять поняття інтелектуальної економіки – сукупності господарств, де основним ресурсом виступають знання і творчі здібності людей. Розвиток такої економіки знань можливий лише за умови ефективного використання наявного інтелектуального потенціалу ключових інституцій і постійного відтворення цього потенціалу через систему освіти й інновацій.

Отже, економічний підхід обґрунтовує інтелектуальний потенціал як стратегічний нематеріальний ресурс, інвестування якого приносить довгострокові вигоди. Це визначає і практичні аспекти, а саме необхідність державної підтримки освіти та науки, стимулювання інновацій, захисту прав інтелектуальної власності.

Соціологи розглядають інтелектуальний потенціал переважно в масштабах суспільства, соціальних груп і класів. Вони аналізують його як ресурс соціального розвитку, пов'язаний із рівнем розвитку освіти, науки, інтелігенції та «креативного класу», наголошують, що інтелектуальний потенціал суспільства є важливою умовою соціального прогресу, а його зростання – запорука підвищення якості життя населення. З позицій соціології стверджується, що чим більше в суспільстві ідей і ерудованих людей, тим вищий його інтелектуальний потенціал.

У соціологічних дослідженнях поняття часто набуває колективного виміру, тому що інтелектуальний потенціал суспільства визначається сукупністю людських, матеріальних і фінансових ресурсів, залучених

у сферу науки й освіти Соціологи здебільшого пропонують саме таке визначення, наголошують, що воно охоплює дві взаємопов'язані сфери інтелектуального життя – науку й освіту. Із соціологічного погляду важливим є не лише наявність інтелектуальних ресурсів, але і ступінь їх залучення до суспільної практики. Тому обґрунтовано необхідність наукового вимірювання та прогнозування інтелектуального потенціалу суспільства, особливо в умовах трансформації соціальної структури.

Для оцінювання інтелектуального потенціалу вчені-соціологи досить часто використовують індекс інтелектуального потенціалу суспільства на основі двох складників – індексу освіти й індексу науки. До таких показників належать: рівень освіти населення; кількість студентів у країні чи регіоні, громаді; обсяги фінансових витрат на освіту; чисельність працівників у сфері науки та частка інвестицій у науку у відсотках до ВВП.

Загалом, соціологічний підхід трактує інтелектуальний потенціал як сукупний індикатор розвитку людського потенціалу суспільства, тісно пов'язаний із поняттям людського розвитку й індексом людського потенціалу (Human Development Index), який включає рівень освіти народу поряд з економічними й демографічними чинниками.

Філософи підходять до поняття інтелектуального потенціалу більш узагальнено, розглядають його як прояв творчої сутності людини й міри її духовного розвитку. У гуманітарному дискурсі інтелектуальний потенціал тісно пов'язують із поняттям духовно-інтелектуального розвитку суспільства. Так, українські науковці П. Перерва та Є. Марчук вводять широке поняття «гуманітарний потенціал нації», визначають його через комплекс показників – від рівня фізичного та психічного здоров'я народу до моралі, духовності й інтелектуального розвитку (Перерва і Марчук, 2018). Інтелектуальний потенціал виступає складником гуманітарного потенціалу, що включає освіту, науку, інформаційні ресурси (бібліотеки, бази даних), зв'язок та інтелектуальну власність. Такий підхід підкреслює, що інтелектуальний розвиток не ізольований від морально-культурного контексту, адже рівень освіченості та науки в суспільстві взаємопов'язаний із духовними цінностями, креативністю і соціальною згуртованістю.

Варто зазначити, що філософський погляд також акцентує увагу на ролі інте-

лектуальної еліти як носіїв потенціалу. Носії високого інтелекту (мислителі, учені) часто ставали рушіями суспільних перетворень. Це підводить до ідеї, що формування інтелектуальної еліти – це важлива умова реалізації інтелектуального потенціалу нації. Від освіти й виховання молодих талантів, від здатності суспільства плекати інноваторів і мислителів залежить, чи буде здійснено потенціал ідей і знань у практичному житті.

З позицій психології та педагогіки інтелектуальний потенціал трактується як характеристика окремої особистості – її розумові здібності, задатки та можливість інтелектуального розвитку. У психології під інтелектуальним потенціалом індивіда часто розуміють рівень інтелектуальних здібностей. Традиційним кількісним показником тут слугує коефіцієнт інтелекту (IQ). Зокрема, у зарубіжній практиці прийнято вважати, що високий інтелектуальний потенціал мають особи з IQ понад 130 балів за стандартними тестами. Водночас психологи наголошують, що інтелект ширший за вузько вимірюваний IQ і може проявлятися в різних видах обдарованості (логіко-математичній, вербальній, просторовій, емоційній та інших).

Сучасні дослідження розвитку інтелектуального потенціалу особистості приділяють увагу як спадковим, так і середовищним (соціально-побутовим) чинникам. Інтелектуальний потенціал визначається у психології як сукупність пізнавальних процесів і розумових здібностей, що дають змогу людині успішно розв'язувати когнітивні завдання і досягати успіху в різних сферах життя. Ці здібності залежать від уроджених даних (генетичний складник) і від впливу середовища – сім'ї, освіти, культури, релігії, соціуму, окремих колективів, друзів та іншого. Так, генетичні особливості мозку можуть задати деякий діапазон можливостей, але реалізація цього потенціалу значною мірою залежить від навчання і стимуляції у критичні періоди розвитку. Педагоги підкреслюють виняткову роль перших років життя дитини, коли формуються нейронні зв'язки, а також роль мотивуючого й розвивального середовища протягом шкільного навчання.

З педагогічного погляду завдання освіти – максимальне розкриття інтелектуального потенціалу кожного учня. Існують спеціальні методики визначення інтелектуального потенціалу учнів, як-от психологічні тести, олімпіади, творчі конкурси, портфо-

ліо досягнень. Ми у своїх практичних дослідженнях рівня інтелектуального потенціалу мешканців регіонів України та територіальних громад Чернівецької області використовуємо показники зовнішнього незалежного оцінювання (далі – ЗНО), а також національного мультипредметного тесту (далі – НМТ).

У галузі вищої освіти поняття інтелектуального потенціалу студентів насамперед пов'язують з формуванням навичок критичного мислення, креативності, здатності до дослідницької діяльності й іншого. Педагоги й науковці розробляють програми, спрямовані на розвиток цих якостей – від інтерактивних методів навчання до залучення студентів у наукові гуртки, стартап-проекти й інші види практичної і теоретичної діяльності.

Як зазначають фахівці, стратегія розвитку інтелектуального потенціалу молоді має включати тренування мислення, підтримку мотивації до пізнання, виховання самостійності в навчанні. Такий цілісний психолого-педагогічний підхід дозволяє підготувати нове покоління фахівців, здатних реалізувати свій інтелектуальний потенціал у професійній діяльності й суспільному житті.

Важливим аспектом нашого дослідження є не тільки аналіз попередніх поглядів різних науковців, а й з'ясування розуміння поняття «інтелектуальний потенціал» як суспільно-географічної категорії.

Згідно з підходом відомих економ-географів М. Паламарчука й О. Паламарчука, інтелектуальний потенціал України становить складник суспільства, що зосереджений на вирішенні теоретичних і практичних завдань розбудови держави, розвитку національної економіки та підвищення якості життя населення. У межах цього потенціалу ними виокремлюються соціальні групи – виробнича (інженери й фахівці економічної сфери), гуманітарна (педагоги, працівники культури, охорони здоров'я, спорту), наукова (наукові кадри вищої школи й академічної сфери), адміністративна (управлінці, юристи, фінансисти), військова інтелігенція (Паламарчук і Паламарчук, 1998).

Т. Нич вважає, що поняття «інтелектуальний потенціал» у соціальній географії варто трактувати як сукупність основних параметрів освітніх, наукових, культурних, креативних здібностей, які характеризують здатність окремої території забезпечувати належний рівень соціально-економічного розвитку країни, регіону (Нич, 2017).

Варто зазначити, що суспільна географія досліджує насамперед територіально-просторові особливості розміщення та використання інтелектуального потенціалу. Тут поняття набуває територіального виміру, учені говорять про інтелектуальний потенціал регіону, територіальної громади, окремого населеного пункту, країни й навіть світу. Географи аналізують, як освітні та наукові ресурси розподілені по території, які регіони є локомотивами інтелектуального розвитку, а які – аутсайдерами в цьому плані.

Інтелектуальний потенціал регіону чи території визначають як системну сукупність освітнього, наукового, інноваційного та культурного потенціалів, зумовлених історично й чинниками розвитку даної території. Фактично, це інтегральна характеристика здатності регіональної спільноти створювати й накопичувати нові знання, технології, продукти. Вона залежить від наявності в регіоні навчальних закладів, науково-дослідних установ, висококваліфікованих кадрів, інноваційних підприємств, а також від ступеня їхньої взаємодії одне з одним. Кількісно інтелектуальний потенціал регіону можна оцінити через систему показників, аналогічних національним, як-от: частка населення з вищою освітою, чисельність науковців та інженерів, обсяг інноваційної продукції, кількість заявок на патенти тощо. Для комплексного оцінювання іноді застосовують індекси, які поєднують кілька вимірів – освітній, науково-технічний, інформаційно-комунікаційний і соціокультурний потенціал регіону. Такий підхід дає змогу виокремити основні джерела живлення інтелектом регіональної економіки. У таких дослідженнях кожний складник розкривається через свої показники: освітній (рівень і якість освіти населення, доступність до закладів освіти, наявна мережа освіти (Zayachuk et al., 2021) тощо), науково-інноваційний (кількість винаходів, патентів, упродовжених розробок, наукових публікацій, проведення та участь в конференціях, симпозіумах, наукових семінарах тощо), інформаційно-комунікаційний (доступність до інтернету, комп'ютеризація, наявність бібліотек і баз даних тощо), соціально-культурний (участь населення в культурному житті територіальної громади чи іншої території, збереження культурної спадщини, розвиток етнокультурного потенціалу тощо).

Дослідження в Україні підтверджують, що регіони з потужним інтелектуальним потенціалом (традиційно це Київ, Харків, Львів, Одеса – великі університетські та наукові центри) є локомотивами економічного зростання, особливо у високотехнологічних

секторах. Натомість регіони, де бракує ЗВО чи наукових установ, відчують вплив мізків до центрів, що посилює територіальну диференціацію. Географічний підхід приділяє увагу внутрішній і зовнішній міграції носіїв знань. Вплив мізків з окремого регіону (чи країни) знижує його інтелектуальний потенціал, тоді як імміграція талановитих фахівців, навпаки, може швидко його підвищити. Тому деякі держави впроваджують спеціальні програми, щоб утримати або повернути молодих учених і професіоналів, стимулюють створення наукових парків і технологічних кластерів у відсталих регіонах.

Отже, у географічному вимірі інтелектуальний потенціал постає як територіально диференційований ресурс, від ефективного використання якого залежать інноваційність і конкурентність конкретних місць і регіонів. Просторовий аналіз цього потенціалу допомагає виявити вузькі місця і точки зростання, що важливо для регіональної політики та збалансованого розвитку країни.

Висновки

Проведений аналіз свідчить, що поняття «інтелектуальний потенціал» є передусім багатомірним та інтерпретується по-різному залежно від галузі знань, але всюди йдеться про здатність до продукування та використання інтелектуальних ресурсів в економіці та суспільстві. У соціології та філософії – це насамперед суспільний феномен, пов'язаний із сукупним інтелектуальним розвитком народу чи нації, рівнем розвитку освіти, науки, культурою мислення. Економісти й управлінці наголошують на ресурсній значущості інтелектуального потенціалу, розглядають його як основне джерело інновацій та інтелектуального капіталу, що прямо впливає на конкурентоспроможність фірм і країн. Психологія та педагогіка зміщують фокус на особистість, її розумові здібності та способи розкриття цього потенціалу через навчання і виховання особистості. Учені в галузі суспільної та соціальної географії додають територіально-просторовий аспект формування інтелектуального потенціалу територій, підкреслюють нерівномірність розподілу інтелектуальних ресурсів та її значення для розвитку економіки та соціокультурної сфери.

Інтелектуальний потенціал виступає тим об'єднавчим чинником, що пов'язує особистий розвиток із суспільним прогресом, матеріальне виробництво з духовним зростанням, минулий досвід із майбутніми інноваціями. Його розвиток є запорукою успішного майбутнього в сучасному світі знань.

Список використаної літератури

- Бутнік-Сіверський О. Трансформація інтелектуальної власності в інноваційний продукт. *Інтелектуальний капітал*. 2003. № 5. С. 3–12.
- Гець В., Семиноженко В. Інноваційні перспективи України. Харків : Константа, 2006. 272 с.
- Жарінова А. Розвиток економіки знань у контексті формування людського капіталу. *Ефективна економіка*. 2013. № 11. [Електронний ресурс] URL: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=2536> (дата звернення 15.07.2025).
- Лапотков В. Поняття і види інтелектуального потенціалу компаній в ІТ-секторі. *Економіка та суспільство*. 2024. № 61. С. 94–100. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-61-94>.
- Маліцький Б., Попович О. Стан використання вітчизняного інтелектуального потенціалу. *Інтелектуальна власність*. 2005. № 12. С. 7–13.
- Нич Т. Географія інтелектуального потенціалу Хмельницької області. Київ : Принт-Сервіс, 2017. 182 с.
- Паламарчук М., Паламарчук О. Економічна і соціальна географія України з основами теорії : навчальний посібник. Київ : Знання, 1998. 416 с.
- Перерва П., Марчук Л. Інтелектуальний потенціал як економічна категорія. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Серія «Економічні науки». 2018. № 15 (1291). С. 53–63.
- Попович О. Науково-технологічна та інноваційна політика: основні механізми формування та реалізації. Київ : Фенікс, 2005. 226 с.
- Сіденко С. Інтелектуальний капітал у стратегії інноваційного розвитку України. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Міжнародні відносини*. 2023. Т. 57. № 1. С. 95–100. <https://doi.org/10.17721/1728-2292.2023/1-57/95-100>.
- Ситник Й. Інтелектуальний потенціал як фактор інтелектуалізації систем менеджменту підприємства. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Серія «Економічні науки». 2012. № 9. С. 271–277. [Електронний ресурс] URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/2988> (дата звернення 15.07.2025).
- Тищенко В. Економіка знань як актуальна основа сучасного розвитку України та її регіонів. Харків : Вид. ХНЕУ, 2014. 272 с.
- Ткаченко В. Інтелектуальний потенціал в основі розвитку виробничих сил і виробничих відносин. Дніпро : Моноліт, 2008. 274 с.
- Філіппова С., Ковтуненко К. Інтелектуальний потенціал як головний чинник формування інтелектуального капіталу. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку*. 2013. № 776. С. 81–86. [Електронний ресурс] URL: <https://ena.lpnu.ua/items/098df848-54fb-4c5c-ab33-d02f461a0819> (дата звернення 15.07.2025).
- Boisot M.H. Knowledge Assets: Securing Competitive Advantage in the Information Economy. Oxford : Oxford University Press, 1998. 284 p.
- Bontis N. Managing organisational knowledge by diagnosing intellectual capital: framing and advancing the state of the field. *International Journal of Technology Management (IJTM)*. 1999. Vol. 18. № 5/6/7/8. P. 433–462. <https://doi.org/10.1504/IJTM.1999.002780>.
- Drucker P.F. Post-Capitalist Society. New York : Harper Business, 1993. 232 p.
- Edvinsson L., Malone M. Intellectual Capital: Realizing Your Company's True Value by Finding Its Hidden Brainpower. New York : Harper Business, 1997. 225 p.
- Foray D. The Economics of Knowledge. Cambridge : MA ; MIT Press, 2004. 275 p.
- Nonaka I., Takeuchi H. The Knowledge-Creating Company. New York : Oxford University Press, 1995. 284 p.
- Roos J., Roos G., Dragonetti N.C., Edvinsson L. Intellectual Capital: Navigating the New Business Landscape. London : Macmillan Press, 1997. 143 p.
- Stewart T.A. Intellectual Capital: The New Wealth of Organizations. New York : Doubleday/Currency, 1997. 278 p.
- Sveiby K.E. The New Organizational Wealth: Managing and Measuring Knowledge-Based Assets. San Francisco : Berrett-Koehler, 1997. 275 p.
- Zayachuk M., Kostashchuk I., Darchuk K., Bilous Yu. Geoinformation technologies as a basis for research of the optimal location of general secondary education institutions (on the example of Chernivtsi city territorial community). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2021. Vol. 30. № 2. P. 389–401. <https://doi.org/10.15421/112135>.

References

- Butnik-Siverskyi, O. (2003). Transformatsiia intelektualnoi vlasnosti v innovatsiinyi produkt [Transformation of intellectual property into an innovative product]. *Intelektualnyi kapital [Intellectual Capital]*, 5, 3–12 [in Ukrainian].
- Heiets, V.M., & Semynozhenko, V.P. (2006). Innovatsiini perspektyvy Ukrainy [Innovative prospects of Ukraine]. Kharkiv: Konstanta [in Ukrainian].
- Zharinova, A.H. (2013). Rozvytok ekonomiky znan v konteksti formuvannia liudskoho kapitalu [Development of the knowledge economy in the context of human capital formation]. *Efektivna ekonomika [Efficient Economy]*, 11. [Electronic resource] URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2536> (access date 15.07.2025) [in Ukrainian].
- Lapotkov, V. (2024). Poniattia i vydy intelektualnogo potentsialu kompanii v IT-sektori [Concept and types of intellectual potential of companies in the IT sector]. *Ekonomika ta suspilstvo [Economy and Society]*, 61. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-61-94> [in Ukrainian].
- Malitskyi, B.A., & Popovych, O.S. (2005). Stan vykorystannia vitchyznianoho intelektualnogo potentsialu [State of use of domestic intellectual potential]. *Intelektualna vlasnist [Intellectual Property]*, 12, 7–13 [in Ukrainian].
- Nych, T.V. (2017). Heohrafiia intelektualnogo potentsialu Khmelnytskoi oblasti [Geography of intellectual potential of Khmelnytskyi region]. Kyiv : Print-Servis [in Ukrainian].
- Palamarchuk, M.M., & Palamarchuk, O.M. (1998). Ekonomichna i sotsialna heohrafiia Ukrainy z osnovamy teorii: navchalnyi posibnyk [Economic and social geography of Ukraine with the basics of theory: a textbook]. Kyiv : Znannia [in Ukrainian].
- Pererva, P.H., & Marchuk, L.S. (2018). Intelektualnyi potentsial yak ekonomichna katehoriia [Intellectual potential as an economic category]. *Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu "Kharkivskiyi politekhnichnyi instytut". Seriya: ekonomichni nauky [Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Series: Economic Sciences]*, 15 (1291), 53–63 [in Ukrainian].
- Popovych, O.S. (2005). Naukovo-tekhnologichna ta innovatsiina polityka: osnovni mekhanizmy formuvannia ta realizatsii [Scientific and technological and innovation policy: basic mechanisms of formation and implementation]. Kyiv : Feniks [in Ukrainian].
- Sidenko, S.V. (2023). Intelektualnyi kapital v stratehii innovatsiinoho rozvytku Ukrainy [Intellectual capital in the strategy of innovative development of Ukraine]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Mizhnarodni vidnosyny [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. International Relations]*, 57 (1), 95–100. <https://doi.org/10.17721/1728-2292.2023/1-57/95-100> [in Ukrainian].
- Sytnyk, Y.S. (2012). Intelektualnyi potentsial yak faktor intelektualizatsii system menedzhmentu pidpriemstva [Intellectual potential as a factor of intellectualization of enterprise management systems]. *Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu "Kharkivskiyi politekhnichnyi instytut". Seriya: ekonomichni nauky [Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Series: Economic Sciences]*, 9, 271–277. [Electronic resource] URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/2988> (access date 15.07.2025) [in Ukrainian].
- Tyshchenko, V.F. (2014). Ekonomika znan yak aktualna osnova suchasnoho rozvytku Ukrainy ta yii rehioniv [Knowledge economy as an actual basis for the modern development of Ukraine and its regions]. Kharkiv : vyd. KhNEU [in Ukrainian].
- Tkachenko, V.A. (2008). Intelektualnyi potentsial v osnovi rozvytku vyrobnychkykh syl i vyrobnychkykh vidnosyn [Intellectual potential is the basis for the development of productive forces and production relations]. Dnipro : Monolyt [in Ukrainian].
- Filyppova, S.V., & Kovtunencko, K.V. (2013). Intelektualnyi potentsial yak holovnyi chynnyk formuvannia intelektualnogo kapitalu [Intellectual potential as the main factor in the formation of intellectual capital]. *Visnyk Natsionalnogo universytetu "Lvivska politekhnika". Menedzhment ta pidpriemnytstvo v Ukraini: etapy stanovlennia i problemy rozvytku [Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Management and Entrepreneurship in Ukraine: the stages of formation and problems of development]*, 776, 81–86. [Electronic resource] URL: <https://ena.lpnu.ua/items/098df848-54fb-4cec-ab33-d02f461a0819> (access date 15.07.2025) [in Ukrainian].
- Boisot, M.H. (1998). Knowledge Assets: Securing Competitive Advantage in the Information Economy. Oxford : Oxford University Press [in English].
- Bontis, N. (1999). Managing organisational knowledge by diagnosing intellectual capital: framing and advancing the state of the field. *International Journal of Technology Management (IJTM)*, 18 (5/6/7/8), 433–462. <https://doi.org/10.1504/IJTM.1999.002780> [in English].

- Drucker, P.F. (1993). *Post-Capitalist Society*. New York: Harper Business [in English].
- Edvinsson, L., & Malone, M. (1997). *Intellectual Capital: Realizing Your Company's True Value by Finding Its Hidden Brainpower*. New York: Harper Business [in English].
- Foray, D. (2004). *The Economics of Knowledge*. Cambridge: MA; MIT Press [in English].
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The Knowledge-Creating Company*. New York: Oxford University Press [in English].
- Roos, J., Roos, G., Dragonetti, N.C. & Edvinsson, L. (1997). *Intellectual Capital: Navigating the New Business Landscape*. London: Macmillan Press [in English].
- Stewart, T.A. (1997). *Intellectual Capital: The New Wealth of Organizations*. New York: Doubleday/Currency [in English].
- Sveiby, K.E. (1997). *The New Organizational Wealth: Managing and Measuring Knowledge-Based Assets*. San Francisco: Berrett-Koehler [in English].
- Zayachuk, M., Kostashchuk, I., Darchuk, K., & Bilous, Yu. (2021). Geoinformation technologies as a basis for research of the optimal location of general secondary education institutions (on the example of Chernivtsi city territorial community). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 30 (2), 389–401. <https://doi.org/10.15421/112135> [in English].

Отримано: 27.07.2025
Прийнято: 29.08.2025
Опубліковано: 17.10.2025





УДК 551.578.467

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.16>

СУЧАСНА СТРУКТУРА ПОЛІВ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗПОДІЛУ СՆІГОВОГО ПОКРИВУ В ОДЕСЬКОМУ РЕГІОНІ

Л. В. Недострелова¹, Д. В. Подолук²

У статті проведено аналіз статистичних параметрів розподілу снігового покриву на території Одеської області впродовж 1996–2018 років. Сніговий покрив є одним з найважливіших кліматичних показників, що впливає на водний баланс, аграрний сектор, гідрологічний режим річок, а також на екосистеми. Одеська область належить до регіонів, де сніговий покрив зазвичай нестійкий.

Відповідно, спостереження за умовами формування і характером залягання снігу мають велике значення, оскільки несуттєві зміни його характеристик можуть призвести до негативних наслідків в економічному, екологічному й соціальному секторах економіки країни. Метою роботи є проведення аналізу статистичної структури розподілу снігового покриву в Одеському регіоні.

Спостереження за сніговим покривом складається зі щоденних спостережень за станом снігового покриву та періодичних знімачь стану снігового покриву з метою визначення кількості снігу й запасів води у природному ландшафті. Для визначення статистичних параметрів розподілу снігового покриву використано апарат досліджень фізичних параметрів атмосфери, що ґрунтується на методах математичної статистики й теорії ймовірностей.

Для опису кліматичних параметрів снігового покриву розраховують середні висоти снігу не для місяців, а для декад місяців холодного періоду.

За результатами дослідження наведено аналіз статистичних і кліматичних характеристик снігового покриву впродовж 1996–2018 років, побудовано поля статистичної структури розподілу снігу.

Поле ізоліній максимальних значень вказує на зменшення максимальної висоти з півночі області на її південь. Середні значення деяким чином повторюють розподіл максимальних висот з максимумом на півночі й мінімумом на півдні області. Розподіл середнього квадратичного відхилення схожий на попередні поля з максимумом у Любашівці й мінімумом на станції Білгород-Дністровський.

Коефіцієнти асиметрії і ексцесу більші за нуль, це дає можливість зробити висновки, що асиметрія правостороння, а крива розподілу висоти снігу має витягнуту форму. В Одеській області максимум повторюваності притаманний висоті снігу від 1 до 5 см. Висоти снігового покриву 50 см і більше простежуються на півночі області, зокрема на станції Любашівка.

Ключові слова: висота снігового покриву, статистичні оцінки розподілу, кліматичні показники, декадні висоти снігу.

¹ кандидат географічних наук,
доцент кафедри метеорології та кліматології
(Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, м. Одеса)
e-mail: nedostrelova@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8532-0481

² бакалавр з наук про Землю
(Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, м. Одеса)
e-mail: dariapodolyuk@gmail.com
ORCID: 0009-0007-2379-0200

THE MODERN STRUCTURE OF THE STATISTICAL CHARACTERISTICS FIELDS OF SNOW COVER DISTRIBUTION IN THE ODESA REGION

L. V. Nedostrelova, D. V. Podoliuk

The article presents an analysis of the statistical parameters of snow cover distribution over the territory of Odesa Oblast during the period from 1996 to 2018.

Snow cover is one of the most important climatic indicators, influencing the water balance, agricultural sector, hydrological regime of rivers, and ecosystems.

In regions with unstable snow regimes, such as Odesa Oblast, monitoring snow cover is of particular importance, as even minor changes in its duration or depth can have significant environmental and socio-economic consequences. The aim of this study is to identify the characteristics of the statistical structure of snow cover distribution across the territory of Odesa Oblast.

Snow cover monitoring consists of daily observations of snow cover conditions and periodic surveys aimed at determining snow quantity and water reserves within the natural landscape. To determine the statistical parameters of snow cover distribution, a research framework for analyzing the physical parameters of the atmosphere was employed, based on methods of mathematical statistics and probability theory. To describe the climatic parameters of snow cover, average snow depths are calculated not for entire months, but for 10-day periods (decades) within the cold season.

Based on the results of the study, statistical and climatic parameters of snow cover were obtained for the investigation period, and fields of the statistical structure of snow distribution were constructed. The field of isolines for maximum values indicates a decrease in maximum snow depth from the north of the region toward the south. The average values generally reflect a similar distribution, with a maximum in the north and a minimum in the south of the oblast.

The distribution of the standard deviation resembles the previous fields, with a maximum near Liubashivka and a minimum at the Bilhorod-Dnistrovskiy station. Both skewness and kurtosis exhibit positive values, indicating right-skewed distribution and a leptokurtic (heavy-tailed) shape of the snow depth distribution curve. At all observation stations in Odesa Oblast, the most frequent snow depth is within the range of 1–5 cm. Snow depths exceeding 50 cm are recorded only at the Liubashivka station, which is located in the northern part of the region.

Key words: snow cover depth, statistical distribution estimates, climatic indicators, decadal snow depth.

Вступ

Сніговий покрив – це шар, що утворився внаслідок накопичення снігу на ґрунті під час відкладення твердих опадів. Формування снігового покриву головним чином відбувається під впливом атмосферних умов і характеристик підстильної поверхні. Основні атмосферні процеси – це випадання і відкладення опадів, конденсація, турбулентний тепло- і вологообмін, радіаційний баланс і рух повітряних мас, особливості рельєфу, що впливають на перебіг атмосферних процесів і створення вітрової тіні (Корнус і Лисенко, 2017; Nedostrelova, 2021; Nedostrelova, 2022; Подолюк, 2025).

Сніг активно впливає на клімат, ґрунтоутворювальні й гідрологічні процеси, рельєф, флору і фауну планети. Сніговий покрив захищає ґрунт від глибокого промерзання, зберігає озимі посіви, охолоджує приземні шари повітря, поглинає азотисті сполуки, чим удобрює ґрунт, адсорбує атмосферний пил. Сніговий покрив – це природний чинник, що має велике значення для сільського господарства, впливає на водне господарство країни, на стан

екологічних систем і складників біосфери. Сніговий покрив впливає на радіаційний баланс атмосфери внаслідок свого високого альбедо. Тривалість залягання і структура снігового покриву мають соціальне й економічне значення (Лебеденко і Недострелова, 2018; Громенко і Недострелова, 2019; Недострелова і Подолюк, 2023).

Снігу притаманна значна просторово-часова мінливість. Фізичні параметри снігового покриву – теплоємність і теплопровідність, вологість, щільність і пористість – не можуть бути сталими величинами. Перетворюється абсолютно все: структура, форма й розміри сніжинок, їхня зв'язність. У сніговому покриві постійно простежуються фазові перетворення (кристалізація, випаровування), відбувається тепло- і вологообмін (Недострелова і Подолюк, 2023; Подолюк, 2025).

Для клімату Одещини характерні риси як континентального, так і морського типів клімату. Загалом, клімат вологий і помірно континентальний. Зимовий сезон нестійкий, малосніжний і м'який. Середня температура січня від -2°C на півдні до -5°C на півночі. Північні й південно-західні вітри

переважають узимку, у літній сезон – північні й північно-західні. Південний регіон області потерпає від посух, бурь та суховіїв. Кліматичні умови сприяють вирощуванню озимої пшениці, соняшнику, проса, ячменю, кукурудзи (Клімат ..., 2003; Кліматичні ..., 2010; Клімат ..., 2012; Кліматичні ..., 2018).

Особливе значення сніговий покрив має для галузі сільського господарства, зокрема для проходження озимими культурами холодного періоду. Сніговий покрив є одним із необхідних чинників для зимівлі рослин – важлива висота снігового покриву, глибина промерзання ґрунту, період з висотою снігу у 30 см і більше, а також тривалість такого періоду. Необхідні агрометеорологічні умови досить мінливі й можуть суттєво змінюватися у своєму просторово-часовому розподілі. Для перезимівлі озимини важливими є й строки появи та сходу снігового покриву, динаміка щільності й висоти снігу. Якщо поява снігу на полях відбувається досить пізно і спостерігаються сильні морози, то підвищується імовірність вимерзання озимих культур. Висота снігового покриву протягом зимового сезону збільшується і сягає свого максимуму на півдні країни в лютому. Рівномірний характер утворення снігового покриву сприяє захисту рослин від низьких температур і збільшує температуру ґрунту на рівні вузла кущення культури. Але сніговий покрив зазвичай на полях формується нерівномірно. Цьому сприяє вітер, що переносить сніг по полю, оголюючи окремі ділянки і утворюючи наноси на інших частинах поля. Рослини пошкоджуються через вимерзання і видування. З іншого боку, високий і тривалий сніг негативним чином впливає на озимину і сприяє випріванню культур (Довгострокові ..., 2007).

Транспортна система країни і її налагоджена робота також залежать від погодних і кліматичних умов. Глобальне потепління сприяє збільшенню повторюваності й інтенсивності небезпечних і стихійних явищ, зокрема, снігопади й хуртовини, і процесів, як-от тропічні циклони, які можуть негативно впливати на безперерйну роботу транспортної системи (Кліматичні ..., 2018).

У регіонах з нестійким сніговим режимом, до яких належить Одеська область, спостереження за сніговим покривом набувають особливого значення, оскільки навіть незначні зміни його тривалості або потужності можуть мати суттєві екологічні та соціально-економічні наслідки (Недострелова і Подолук, 2024; Подолук, 2025).

Матеріал і методи

Метою роботи є визначення особливостей статистичної структури розподілу снігового покриву на території Одеської області. Об'єктом дослідження є сніговий покрив, предмет дослідження – динаміка часових і просторових показників утворення і залягання снігу впродовж 1996–2018 рр.

Кількісний опис стану окремих складників кліматичної системи надають гідрометеорологічні дані та гідрометеорологічна інформація. Фізичні характеристики атмосфери значно мінливі, відповідно, необхідні постійні спостереження за їхнім станом. Основним джерелом такої інформації є строкові метеорологічні спостереження, зокрема і спостереження за сніговим покривом. У Настанові гідрометеорологічним станціям і постах (2011 р.) зазначено, що «спостереження за сніговим покривом складається зі щоденних спостережень за станом снігового покриву та періодичних зйомок стану снігового покриву з метою визначення кількості снігу й запасів води у природному ландшафті (поле, ліс, балки, яри тощо). У поняття «сніговий покрив», окрім шару снігу, що утворився на поверхні ґрунту, входять: прошарки льоду на поверхні снігу та ґрунту, а також тала вода, що накопичується під снігом».

Авторами (Школьнік та ін., 1999; Методи ..., 2000) запропоновано апарат досліджень фізичних параметрів атмосфери, що ґрунтується на методах математичної статистики й теорії імовірностей: «властивості випадкових величин можуть характеризуватися початковими (ν), центральними (μ) і основними (η) моментами різних порядків (l). У гідрометеорологічних дослідженнях зазвичай використовуються перелічені моменти перших чотирьох порядків, які відбивають фізичні властивості процесів, що досліджуються». Правильне використання комплексу статистичних методів під час проведення аналізу гідрометеорологічної інформації дає можливість вирішення актуальних питань діагнозу та прогнозу гідрометеорологічних явищ і процесів.

Для опису кліматичних параметрів снігового покриву розраховують середні висоти снігу не для місяців, а для декад місяців холодного періоду (Кліматична ..., 2004).

Результати та їх обговорення

За даними про розподіл висоти снігового покриву на станціях Одещини було розраховано статистичні характеристики: середнє арифметичне, середній квадратичний відхил S_x , коефіцієнти асиметрії A_s і ексцесу E , максимальне і мінімальне значення (рис. 1–2).

Отже, середнє значення висоти снігу на території Одещини змінюється в межах від 4 см на станціях Білгород-Дністровська й Вилкове до максимуму на станції Любашівка – 11 см. Середній квадратичний відхил має максимум на станції Любашівка, що дорівнює 9 см, а мінімум становить 5 см і зафіксований на 36% станцій регіону. Коефіцієнт асиметрії має додатні значення – правостороння асиметрія, тобто модальні висоти снігу менші, ніж середнє значення вибірки. Максимальне значення 2,6 притаманне станції Сарата, а мінімальна асиметрія 1,3 виявлена на станції Одеса. Значення коефіцієнта асиметрії 1,4 є характерним для 36% досліджених станцій. Коефіцієнт ексцесу також має додатні значення, що свідчить про витягнуту криву розподілу висоти снігового покриву. Ексцес коли-

вається в межах від 10,3 на станції Сарата до мінімуму на станції Роздільна, що становить 1,3. Мінімальне значення дорівнює 0 см по всім станціям. Найбільші значення висоти змінюються від 25 см на станції Вилкове до 59 см на півночі області в Любашівці.

Просторовий розподіл максимуму свідчить про зменшення найбільших значень висоти снігу з півночі на південь області. Максимальне значення виявлено в Любашівці, яке становить 59 см; мінімальний показник з максимумів спостерігаємо на станції Сербка, він дорівнює 28 см. Розподіл середніх висот ототожнює поле найбільших показників – максимальне середнє значення зафіксовано на станції Любашівка й дорівнює 11 см, мінімальний показник серед середніх значень визначено в Білгород-Дністровському, який становить 4 см.

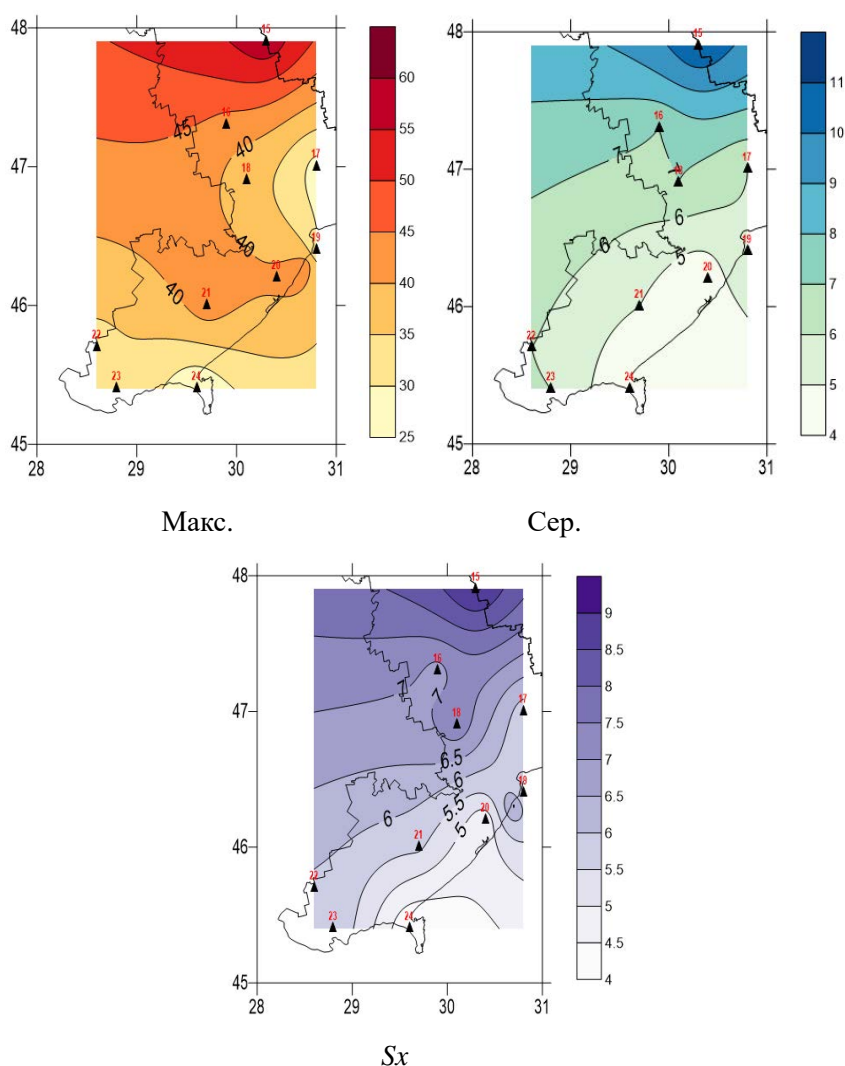


Рис. 1. Поля статистичних характеристик (максимального, середнього значення та середнього квадратичного відхилення) висоти снігового покриву на станціях: 15 – Любашівка, 16 – Затишшя, 17 – Сербка, 18 – Роздільна, 19 – Одеса, 20 – Білгород-Дністровський, 21 – Сарата, 22 – Болград, 23 – Ізмаїл, 24 – Вилкове

Поле значень середнього квадратичного відхилення деяким чином повторює розподіли максимальних і середніх висот з найбільшим значенням на станції Любашівка, він дорівнює 9 см, і найменшим показником у Білгород-Дністровському, що становить 4 см. Поля просторового розподілу коефіцієнтів асиметрії і ексцесу (рис. 2) відображають схожість конфігурації ізоліній з найбільшим значенням на станції Сарата. Коефіцієнти асиметрії і ексцесу більші за нуль, це дає можливість зробити висновки, що асиметрія правостороння, а крива розподілу висоти снігу має витягнуту форму.

У процесі дослідження проведено аналіз висоти снігового покриву. На рис. 3 представлено гістограму повторюваності висоти снігу на станціях Одещини. Найбільшу повторюваність встановлено у градації висоти снігового покриву від 1 до 5 см на всіх досліджених станціях. Максимальний показник повторюваності в цій градації висоти зафіксовано на станції Вилкове, він становить 71%, мінімум у 34% визначено в Любашівці. Значні показники повторюваності спостерігаємо й у градаціях від 6 до 10 та від 11 до 15 см. Градація 6–10 см характеризується максимумом у 34% в Одесі, мінімальний показник стано-

вить 14% і притаманний станції Роздільна. У градації від 11 до 15 см найбільше значення становить 17% у Любашівці, найменша повторюваність у 3% зафіксована на станції Вилкове. У градаціях 16–20 та 21–25 см найбільші повторюваності становлять 13 та 6% на станції Любашівка, мінімальні значення в 1 та 0,1% спостерігаємо на станції Білгород-Дністровський відповідно до градацій.

Для висот снігу від 26 до 30 см характерні найбільші повторюваності 1,5% в Ізмаїлі, найменші, що становлять 0,1%, на станції Сербка. Градації висоти від 31 до 35 см фіксуємо на станціях Одещини з максимумом повторюваності 1,4% у Роздільній, Одесі притаманний мінімум у цій градації, що становить 0,1%. Висоти снігу від 36 до 40 см виявлено з максимальним показником 0,5% на станції Чорноморськ, мінімальним – у Любашівці, зі значенням повторюваності 0,1%. У градації від 41 до 45 см виявлено мінімум 0,1% на станціях Любашівка та Чорноморськ, максимум фіксуємо на станції Затишшя, він дорівнює 0,7%. Єдина станція, де виявлено повторюваності у градаціях 46–50, 51–55, 56–60 см з показниками 0,5, 0,2 та 0,3% відповідно, це найпівнічніша станція Одещини – станція Любашівка.

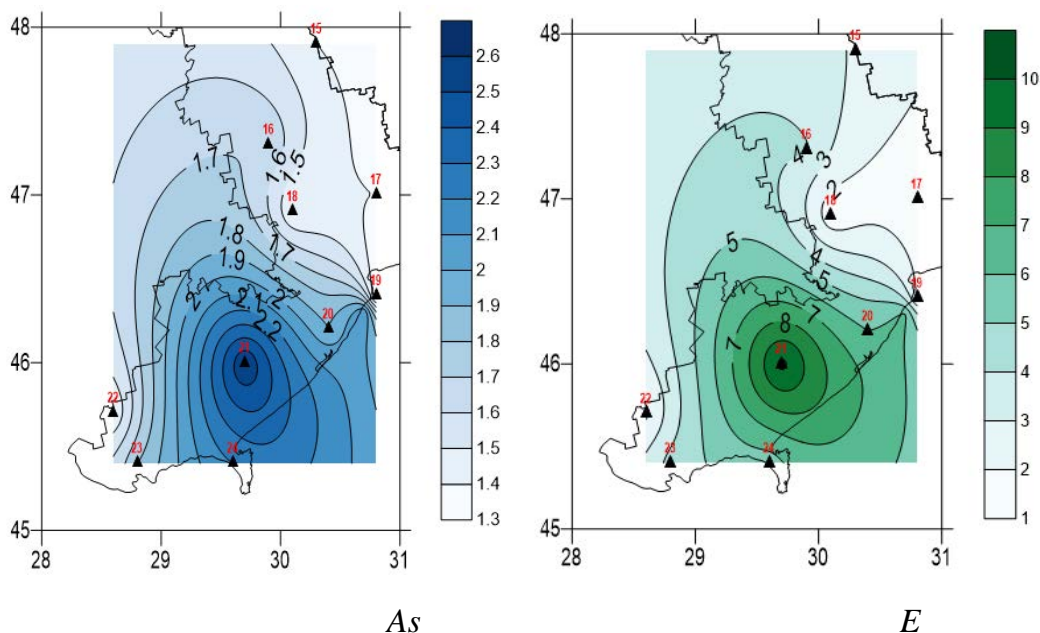


Рис. 2. Поля статистичних характеристик (асиметрії і ексцесу) висоти снігового покриву на станціях: 15 – Любашівка, 16 – Затишшя, 17 – Сербка, 18 – Роздільна, 19 – Одеса, 20 – Білгород-Дністровський, 21 – Сарата, 22 – Болград, 23 – Ізмаїл, 24 – Вилкове

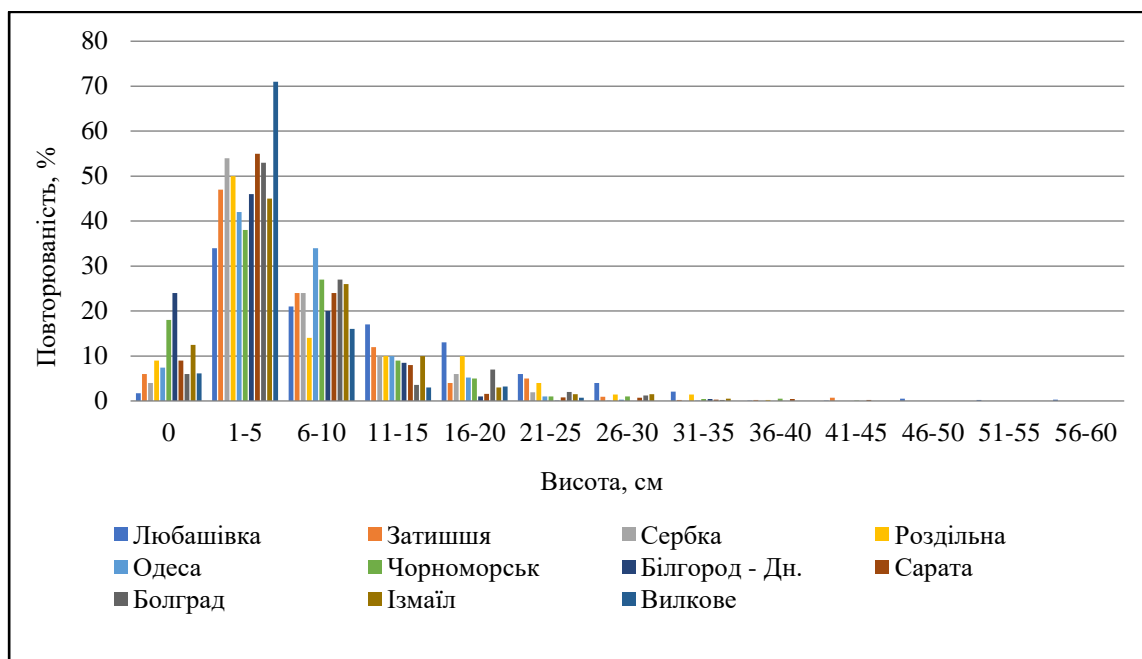


Рис. 3. Повторюваність висоти снігового покриву за градаціями

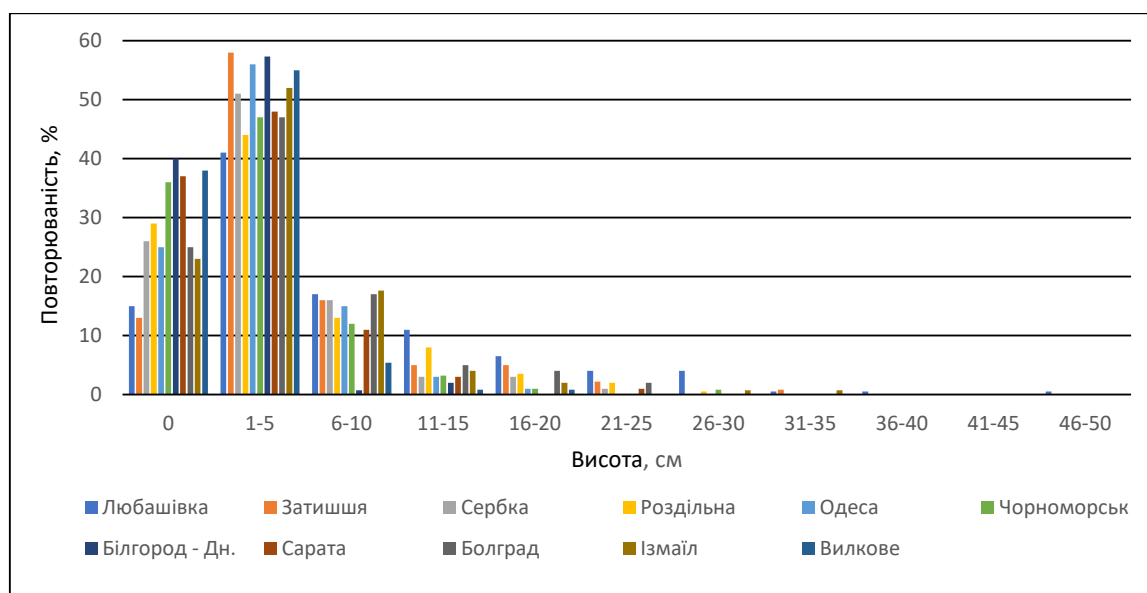


Рис. 4. Повторюваність декадної висоти снігового покриву за градаціями

За даними метеорологічних станцій про висоту снігового покриву знайдено декадні висоти – один з основних кліматичних параметрів розподілу снігу. Рис. 4 відображає узагальнені дані щодо мінливості декадної висоти снігового покриву за градаціями на території Одеської області за період 1996–2018 рр.

У досліджених пунктах спостереження в Одеській області найбільша повторюваність

притаманна декадній висоті снігу від 1 до 5 см. Максимум повторюваності становить 58% на станції Затишся, 41% на станції Любашівка – мінімальний показник повторюваності. Значні повторюваності зафіксовано з позначкою висоти 0 см: максимум – 40% – простежується на станції Білгород-Дністровський, мінімум – 13% – у Затишші. У градації від 6 до 10 см максимум (17,6%) виявлено на станції

Ізмаїл, а мінімум (0,7%) на станції Білгород-Дністровський. Для градації від 11 до 15 см та від 16 до 20 см характерними є показники повторюваності 11 та 6,5% на станції Любашівка, мінімальні – 0,8% на станції Вилкове. На станції Любашівка спостерігаємо найбільші 4% у градаціях від 21 до 25 та від 26 до 30 см, найменші повторюваності по цим висотам простежуються на станціях Сербка та Сарата – 1%, у Роздільній – 0,5%. У градаціях 31–35, 36–40 та 46–50 см значення повторюваності 0,5% притаманно Любашівці. На станції Ізмаїл фіксуємо висоту снігу від 31 до 35 см з позначкою повторюваності 0,7%.

Висновки

У статті проведено аналіз просторової і часової динаміки снігового покриву в Одеській області впродовж 1996–2018 рр. У процесі дослідження розраховано й надано оцінки статистичних і кліматичних параметрів снігового покриву за період дослідження.

Просторовий розподіл максимуму свідчить про зменшення найбільших значень

висоти снігу з півночі на південь області. Середні значення деяким чином повторюють розподіл максимальних висот з максимумом на півночі і мінімумом на півдні області. Поле значень середнього квадратичного відхилу деяким чином повторює розподіл максимальних і середніх висот з найбільшим значенням на станції Любашівка, що дорівнює 9 см, і найменшим показником у Білгород-Дністровському, що становить 4 см. Коефіцієнти асиметрії і ексцесу більші за нуль, це дає можливість зробити висновки, що асиметрія правостороння, а крива розподілу висоти снігу має витягнуту форму.

В Одеській області максимум повторюваності притаманний висоті снігу від 1 до 5 см. Висоти 6–10 і 11–15 см мають вагомні показники повторюваності. Загалом, на всіх станціях області висота снігового покриву змінюється в межах від 0 до 20 см. Висоти снігового покриву 50 см і більше простежуються на півночі області, зокрема на станції Любашівка.

Список використаної літератури

- Громенко Д.Є., Недострелова Л.В. Аналіз кліматичних параметрів снігового покриву на території Вінницької області. *Вісник Гідрометцентру Чорного та Азовського морів*. 2019. № 23. С. 34–41.
- Довгострокові агрометеорологічні прогнози : підручник / уклад. : А.М. Польовий, Л.Ю. Божко. Київ : КНТ, 2007. 296 с.
- Клімат України : монографія / за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ : Видавництво Раєвського, 2003. 343 с.
- Клімат України та прикладні аспекти його використання : навчальний посібник / уклад. : О.О. Врублевська, Г.П. Катеруша. Одеса : ТЕС, 2012. 180 с.
- Кліматична обробка окремих метеорологічних величин : навчальний посібник / уклад. : О.О. Врублевська, Г.П. Катеруша, Н.К. Миротворська. Одеса : ТЕС, 2004. 150 с.
- Кліматичні ресурси Одеської області для сталого розвитку : науково-практичний довідник / за ред. Ж.В. Волошиної. Одеса : Державна гідрометслужба України, 2010. 180 с.
- Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах змін клімату : монографія / за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса : ОДЕКУ, 2018. 548 с.
- Корнус А.О., Лисенко І.О. Характеристика снігового покриву Сумської області за результатами спостережень 2005–2017 рр. *Географічні науки*. 2017. Вип. 8. С. 3–6.
- Лебеденко А.І., Недострелова Л.В. Особливості часової мінливості снігового покриву на станціях Кіровоградської області. *Вісник Вісник Гідрометцентру Чорного та Азовського морів*. 2018. № 2 (22). С. 100–107.
- Методи обробки та аналізу гідрометеорологічної інформації (збірник задач і вправ) : навчальний посібник / уклад. : Є.П. Школьний, Л.Д. Гончарова, Н.К. Миротворська. Одеса : Одеський державний екологічний університет, 2000. 420 с.
- Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Вип. 3. Ч. I : Метеорологічні спостереження на станціях / уклад. : УкрНДГМІ ; ЦГО. Київ : Державна гідрометеорологічна служба, 2011. 280 с.
- Недострелова Л.В., Подолук Д.В. Сніговий покрив і його вплив на перезимівлю озимих культур на півдні України в умовах потепління клімату. Відновлення природно-ресурсного потенціалу та стійкості екосистем : колективна монографія / за заг. ред. Т.О. Чайки. Полтава : Видавництво ПП «Астроя», 2023 р. С. 69–75.
- Особливості формування снігового покриву на території центральної і південної України в умовах сучасних змін клімату : монографія / уклад. Л.В. Недострелова. Одеса : ОДЕКУ, 2022. 150 с.
- Подолук Д.В. Особливості формування снігового покриву на території Одеської області впродовж 1996–2018 рр. : кваліфікаційна робота бакалавра / Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, кафедра метеорології та кліматології. 2025. 48 с.

ШКОЛЬНИЙ Є.П., Лосєва І.Д., Гончарова Л.Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації. Одеса : Одеський державний екологічний університет, 1999. 600 с.

Nedostrelova L. Dynamics of snow cover in the Kirovohrad region at the end of the XX and the beginning of the XXI centuries. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2021. № 30 (1). P. 133–144. <https://doi.org/10.15421/112112>.

References

Hromenko, D.Ye., & Nedostrelova, L.V. (2019). Analiz klimatychnykh parametriv snihovoho pokryvu na terytoriyi Vinnytskoyi oblasti [Analysis of climatic parameters of the snow cover on the territory of the Vinnytsia region]. *Visnyk HMTS CHAM [Bulletin of the GMC CHAM]*, 23, 34–41 [in Ukrainian].

Poliovyi, A.M., & Bozhko, L.Yu. (2007). Dovhostrokovi ahrometeorolohichni prohnozy [Long-term agrometeorological forecasts]. Kyiv : KNT [in Ukrainian].

Lipinskyi, V.M., Dyachuk, V.O., & Babichenko, V.M. (2003). Klimat Ukrayiny [Climate of Ukraine]. Kyiv : Publ. Rayevskoho [in Ukrainian].

Vrublevska, O.O., & Katerusha, H.P. (2012). Klimat Ukrayiny ta prykladni aspekty yoho vykorystannya [The climate of Ukraine and applied aspects of its use]. Odessa : TES [in Ukrainian].

Vrublevska, O.O., Katerusha, H.P., & Myrotvorska, N.K. (2004). Klimatychna obrobka okremykh meteorolohichnykh velychyn [Climatic analysis of certain meteorological quantities]. Odessa : TES [in Ukrainian].

Voloshyna, Zh.V. (ed). (2010). Klimatychni resursy Odeskoi oblasti dlia staloho rozvytku: naukovo-praktychnyi dovidnyk [Climatic resources of Odessa region for sustainable development: a scientific and practical guide]. Odessa : State Hydrometeorological Service of Ukraine [in Ukrainian].

Stepanenko, S.M., & Poliovyi, A.M. (ed.) (2018). Klimatychni ryzyky funktsionuvannya haluzey ekonomiky Ukrayiny v umovakh zmin klimatu [Climatic risks of the functioning of the Ukrainian economy in the minds of climate change]. Odessa : ODEKU [in Ukrainian].

Kornus, O.O., & Lysenko, I.O. (2017). Kharakterystyka snihovoho pokryvu Sumskoyi oblasti za naslidkamy sposterezhen 2005–2017 rr. [Characteristics of snow cover in the Sumy region based on the results of monitoring 2005–2017]. *Heohrafichni nauky [Geographical Sciences]*, 8, 3–6 [in Ukrainian].

Lebedenko A.I., & Nedostrelova, L.V. (2018). Osoblyvosti chasovoi minlyvosti snihovoho pokryvu na stantsiyakh Kirovohradskoi oblasti [Features of temporal variability of snow cover at stations of Kirovograd region]. *Visnyk HMTS CHAM [Bulletin of the GMC CHAM]*, 2 (22), 100–107 [in Ukrainian].

Nastanova hidrometeorolohichnym stantsiyam ta postam. Vyp. 3. Ch. I. Meteorolohichni sposterezhennya na stantsiyakh (2011). [Installation of hydrometeorological stations and posts. Issue 3. Part I. Meteorological warnings at stations]. Kyiv : Derzhavna hidrometeorolohichna sluzhba [in Ukrainian].

Nedostrelova, L.V. (2022). Osoblyvosti formuvannya snihovoho pokryvu na terytoriyi tsentralnoyi ta pivdennoyi Ukrayiny v umovakh suchasnykh zmin klimatu [Features of the formation of snow cover in the territory of central and western Ukraine in the minds of current climate changes]. Odessa : ODEKU [in Ukrainian].

Nedostrelova, L.V., & Podoliuk, D.V. (2023). Snihovy pokryv i yoho vplyv na perezymivliu ozymykh kultur na pivdni Ukrainy v umovakh poteplinnia klimatu [Snow cover and its impact on the overwintering of winter crops in southern Ukraine under conditions of climate warming]. Poltava : Astraia, 69–75 [in Ukrainian].

Podoliuk, D.V. (2025). Osoblyvosti formuvannya snihovoho pokryvu na terytorii Odeskoi oblasti vprodovzh 1996–2018 rr. [Features of snow cover formation in the Odessa region during 1996–2018]: kvalifikatsiina robota bakalavra / Odeskyi natsionalnyi universytet imeni I.I. Mechnykova. Kafedra meteorolohii ta klimatolohii [in Ukrainian].

Shkolniy, E.P., Goncharova, L.D., & Mirotvorska, N.K. (2000). Metody obrobki ta analizu gidrometeorolohichnoyi informatsiyi (zbirnik zadach i vprav) [Methods of processing and analyzing hydrometeorological information (collection of tasks and exercises)]. Odessa : TES [in Ukrainian].

Shkolniy, E.P., Loeva, I.D., & Goncharova, L.D. (1999). Obrobka ta analiz gidrometeorolohichnoyi informatsiyi [Processing and analysis of hydrometeorological information]. Odessa : TES [in Ukrainian].

Nedostrelova, L. (2021). Dynamics of snow cover in the Kirovohrad region at the end of the XX and the beginning of the XXI centuries. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 30 (1), 133–144. <https://doi.org/10.15421/112112> [in English].

Отримано: 22.07.2025

Прийнято: 28.08.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 551.58 + 551.583

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.17>

СТРУКТУРА ПРИРОДНОГО РОКУ НА МЕТЕОСТАНЦІЇ ЛУЦЬК І ТЕНДЕНЦІЇ ЇЇ ЗМІН УПРОДОВЖ 2001–2024 РОКІВ

Т. С. Павловська¹, С. В. Стельмах², Б. С. Жданюк³

Структура природного року є важливим індикатором регіональних проявів кліматичних змін у помірному поясі. Аналіз тривалості та часових меж метеорологічних пір року дає можливість простежити трансформації сезонної ритміки природних процесів і оцінити масштаби кліматичних змін на локальному рівні. Мета дослідження полягала в з'ясуванні тенденції змін тривалості й часових меж метеорологічних пір року на метеостанції Луцьк упродовж 2001–2024 років з використанням методів камеральної обробки даних (математико-статистичний, графічний, порівняльний аналіз) Волинського обласного центру з гідрометеорології про дати переходу середньодобових температур повітря через критичні значення 0 і $+15^{\circ}\text{C}$ для оцінювання статистичної значущості лінійних трендів досліджуваних параметрів. Установлено, що у структурі природного року домінує літо (приблизно 33%), найменшу частку становить зима (трохи більше за 17%), а весна й осінь охоплюють майже однакові частки – по 24–25%. У середньому тривалість зими на метеостанції Луцьк становить 64, весни – 92, літа – 119, осені – 90 днів. Для зими й осені характерні тенденції зменшення їхньої тривалості, а для літа й весни – зростання. Зміни тривалості зимового й весняного сезонів є статистично значущими. Тривалість літа зростає насамперед вересневими днями, а тривалість весни збільшується через домінування додатних температур у січні та лютому. Тривалість метеорологічної зими скорочується через потепління в холодний період року. Особливе значення мають виявлені випадки аномально коротких зим, зокрема й відсутність зимового сезону у Волинській області у 2022/2023 роках (1 день), що є нетиповим явищем для помірного клімату. Осінній сезон, попри слабо виражену тенденцію до зменшення його тривалості, є найбільш стабільним за тривалістю. Змінюються лише його хронологічні межі, зміщуючись до зими. Означені закономірності узгоджуються із сучасними тенденціями подовження теплого періоду року в помірному кліматичному поясі. Результати дослідження можуть бути корисними для вивчення агрокліматичного, біокліматичного, рекреаційного потенціалів міста та прилеглих територій.

Ключові слова: Волинська область, клімат, лінійний тренд, метеорологічна пора року, метеостанція Луцьк, природний рік, статистична значущість лінійного тренду, фенологічний сезон.

¹ кандидат географічних наук, доцент кафедри фізичної географії
(Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк)
e-mail: pavlovska.tatjana@vnu.edu.ua
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@vnu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-7106-4242

³ кандидат географічних наук,
доцент кафедри комп'ютерних та інформаційних технологій
(Відокремлений структурний підрозділ закладу вищої освіти «Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», Дубенська філія, м. Дубно)
e-mail: Geronimo.bog@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0171-3825

STRUCTURE OF THE NATURAL YEAR AT LUTSK WEATHER STATION AND TRENDS OF ITS CHANGES DURING 2001–2024

T. S. Pavlovska, V. Yu. Stelmakh, B. S. Zhdaniuk

The structure of the natural year is an important indicator of regional manifestations of climate change in the temperate zone. Analysis of the duration and temporal boundaries of meteorological seasons enables tracking transformations in seasonal rhythms of natural processes and assessing the scale of climate change at the local level. The aim of the study was to clarify trends in duration and temporal boundaries of meteorological seasons at Lutsk weather station during 2001–2024 using methods of cameral data processing (mathematical-statistical, graphical, comparative analysis) from Volyn Regional Hydrometeorological Center on dates of daily mean air temperature transitions through critical values of 0 and +15°C to assess statistical significance of linear trends of the studied parameters. It was established that summer dominates in the natural year structure (about 33%), winter has the smallest share (slightly more than 17%), while spring and autumn occupy almost equal shares of 24–25% each. On average, winter duration at Lutsk weather station is 64 days, spring – 92 days, summer – 119 days, autumn – 90 days. Winter and autumn are characterized by trends of decreasing duration, while summer and spring show increasing trends. Changes in winter and spring season duration are statistically significant. Summer duration increases primarily due to September days, while spring duration increases due to predominance of positive temperatures in January and February. Meteorological winter duration shortens due to warming in the cold period of the year. Of particular significance are the identified cases of anomalously short winters, including practical absence of winter season in Volyn region in 2022/2023 (1 day), which is an atypical phenomenon for temperate climate. Autumn season, despite a weakly expressed tendency to decrease in duration, is the most stable in terms of duration. Only its chronological boundaries change, shifting towards winter. These patterns are consistent with current trends of warm period lengthening in the temperate climate zone. Research results can be useful for studying agroclimatic, bioclimatic, recreational potentials of the city and adjacent territories.

Key words: Volyn region, climate, linear trend, meteorological season, Lutsk meteorological station, natural year, statistical significance of linear trend, phenological season.

Вступ

З кожним роком аргументи на користь підтвердження змін клімату стають усе переконливішими. Не лише зростає температура атмосферного повітря, а й змінюється режим зволоження, посилюються екстремальні метеорологічні явища. У помірному кліматичному поясі спостерігаються помітні трансформації кліматичних сезонів – відбувається зміна їхньої тривалості та хронологічних меж. Такі процеси у природі можуть спровокувати значні втрати для сільського, лісового, водного господарств, енергетики й інших секторів економіки. Щоб запобігти негативним наслідкам глобального потепління або мінімізувати їх, забезпечити найбільш ефективну стратегію адаптації суспільства до сучасних перетворень кліматичної системи, необхідна детальна науково опрацьована інформація про зміни погоди-кліматичних умов на регіональному та локальному рівнях.

Дослідження структури природного року, визначення меж і тривалості кліматичних сезонів, має давні традиції у світовій науці. Перші спроби характеризувати зміни погоди протягом річного циклу було

зроблено ще античними вченими, проте системні дослідження розпочалися лише в XIX ст. Першу європейську мережу фенологічних спостережень створив Е. Іне (Inne, 1911) у Німеччині, який представив перші фенологічні карти настання весни для території Великого герцогства Гессен. Значний внесок у формування методологічних засад дослідження кліматичних сезонів зробив австрійський кліматолог В. Кеппен (Köppen, 1923), який розробив класифікацію клімату й визначив критерії аналізу сезонного розподілу температур повітря і опадів.

У контексті сучасних кліматичних змін особливого значення набули дослідження М. Шварца, який представив модель прогнозування дат настання весняних фенологічних фаз на основі метеорологічних даних, що згодом стала основою для вивчення впливу кліматичних змін на фенологічні процеси (Schwartz, 1992). Згодом ця методика була вдосконалена до розширених весняних індексів (Extended Spring Indices), які використовуються для відстеження зміщення термінів настання весни в умовах глобального потепління (Schwartz et al., 2006). Зміни у фенології рослин, аналіз

фенологічних трендів на території Європи відображено у працях А. Менцель (Menzel et al., 2020) і співавторів. Трансформацію сезонної структури року, зокрема строки настання весняних фенологічних фаз, досліджували Т. Спаркс і А. Менцель (Sparks & Menzel, 2002). У своїх роботах вони показали, що в різних регіонах Європи спостерігаються зміщення термінів настання фенологічних явищ, які можуть бути індикаторами кліматичних змін. Для розуміння змін фенологічних показників в умовах гірських ландшафтів важливими є дослідження Т. Рутішаузер, Й. Лютербахер, К. Дефіла, Д. Франк, Х. Ваннер (Rutishauser et al., 2008), які аналізували багаторічні дані про строки настання весняних фенологічних фаз у Швейцарських Альпах у контексті кліматичних змін. Значну роль у координації фенологічних досліджень у Європі відіграє Загальноєвропейська фенологічна база даних (PER725), яка забезпечує єдину точку доступу до фенологічної інформації з різних країн (Templ et al., 2018), а також Національна фенологічна мережа США (USA ..., 2025), що впроваджує стандартизовані методи моніторингу фенологічних явищ і сприяє обміну інформацією між дослідниками.

У науковому товаристві українських учених питання змін тривалості, хронологічних меж, погодно-кліматичних умов різних сезонів року теж актуальне. Для території України велике значення мають праці І. Бучинського, який у монографії «Клімат України в минулому, теперішньому і майбутньому» (1963 р.) представив детальну характеристику кліматичних сезонів і тенденцій їхніх змін. Він запропонував свою систему виділення кліматичних сезонів на основі стійкого переходу середньодобової температури повітря через визначені критичні значення (Кліматологічні ..., 2025). Дослідження фенологічних аспектів природного року здійснено у працях багатьох українських учених-біологів на природоохоронних територіях з використанням методик виділення фенологічних сезонів і субсезонів на основі спостережень за індикаторними видами рослин (Шульгіна, 1966; Скобало та ін., 2013;). Науковці Київського національного університету імені Тараса Шевченка С. Сніжко й О. Шевченко (Сніжко і Шевченко, 2011) звернули увагу на сезонні особливості метеорологічного режиму в умовах міського середовища, що впливають на формування мікрокліматичних умов

у різні пори року. Питання структури кліматичних сезонів у міських умовах представлено також у монографії В. Осадчої та В. Бабіченко «Клімат Києва» (Осадча і Бабіченко, 2010).

Нині в Україні регулярні метеорологічні спостереження, зокрема й фіксування термінів настання кліматичних сезонів, здійснюються Центральною геофізичною обсерваторією імені Бориса Срезневського (Центральна ..., 2025) і Українським гідрометеорологічним інститутом (Український ..., 2025). Ці установи формують систему кліматичного моніторингу національного рівня. Реєстрацію дат настання метеорологічних пір року у Волинській області здійснюють у Волинському обласному центрі з гідрометеорології.

Результати досліджень змін тривалості й меж метеорологічних пір року у Волинській області відображено у працях Ю. Білецького, А. Гарасим'як, В. Мілінчук, М. Мельничук, О. Нікон, О. Пархомика, Т. Павловської, М. Ступницької та інших (Павловська та ін., 2020b, 2020d; Павловська та ін., 2021a, 2021b; Павловська та ін., 2023a, 2023b; Павловська та ін., 2024a). Погодно-кліматичні умови календарних і метеорологічних пір року в регіоні й на метеостанції Луцьк охарактеризували у своїх публікаціях В. Бакалейко, С. Валянський, Ю. Білецький, Р. Геналюк, В. Климюк, О. Кондратчук, А. Михалюк, Т. Павловська, С. Ройко, О. Рудик, В. Стельмах, Н. Тарасюк, Ф. Тарасюк, М. Федонюк (Павловська та ін., 2020a, 2020c; Мельничук та ін., 2022; Павловська і Стельмах, 2024; Павловська та ін., 2023b; Павловська та ін., 2024b).

Однак для північно-західних областей України питання змін структури природного року вивчені не досить. Бракує системного аналізу динаміки тривалості метеорологічних сезонів зі статистичною оцінкою виявлених тенденцій. Поза увагою дослідників залишаються також екстремальні випадки аномальної тривалості сезонів, що можуть свідчити про посилення кліматичних змін.

Метою дослідження є з'ясування тенденцій змін тривалості й часових меж метеорологічних пір року на метеостанції Луцьк від початку ХХІ ст. і до 2024 р. включно. Для цього було виконано низку завдань: 1) визначено середню тривалість кожного метеорологічного сезону за досліджуваний період та побудовано діаграми структури природного (фенологічного) року; 2) побудовано й проаналізовано гра-

фіки динаміки тривалості метеорологічних пір року на метеостанції Луцьк упродовж 2001–2024 рр.; 3) за допомогою Microsoft Excel 2019 визначено рівняння лінійних трендів змін тривалості сезонів і величини вірогідності апроксимації; 4) здійснено оцінювання статистичної значущості лінійних трендів коливань тривалості метеорологічних пір року; 5) виявлено екстремальні значення тривалості метеорологічних сезонів і охарактеризовано особливості їхніх хронологічних меж у різні роки; 6) узагальнено тенденції змін структури природного року в контексті регіональних проявів глобальних кліматичних змін.

Матеріал і методи

Під час проведення досліджень було використано такі методи, як математико-статистичний, графічний, системний, описовий, причинно-наслідкових зв'язків, порівняльно-географічний, аналіз, синтез тощо. Для аналізу структури природного року та тенденцій змін тривалості метеорологічних сезонів використано багаторічні дані спостережень на метеостанції Луцьк за період 2001–2024 рр. з архівів Волинського обласного центру з гідрометеорології. Для статистичної обробки даних, побудови графіків і оцінювання значущості трендів (Проведення ..., 2013) застосовано програму "Microsoft Excel 2019".

Результати

Кліматологи послуговуються поняттям «метеорологічні пори року». Їх настання пов'язують з датами переходу середньодобових температур повітря через значення 0 і +15°C. Метеорологічна весна настає тоді, коли середньодобові температури зростають від 0 до +15°C, літо – з температурами понад +15°C, осінь – коли середньодобові температури знижуються від +15 до 0°C, а зима – період з від'ємними добовими температурами (Киналь, 2014). На відміну від календарних сезонів, які мають фіксовану тривалість, метеорологічні пори року характеризуються значною варіабельністю як за тривалістю, так і за датами їх початку та кінця. Ця особливість робить їх важливими індикаторами кліматичних змін, оскільки дозволяє відстежувати реальні зміни погоди-кліматичних умов, а не формальні календарні періоди. Як зазначають Г. Блешль та співавтори (Blöschl et al., 2017), зміни тривалості метеорологічних сезонів можуть слугувати раннім сигналом кліматичних трансформацій регіонального масштабу, впливати на різні природні процеси, включно з гідроло-

гічними. Дослідження, проведені в різних регіонах Європи, засвідчують, що в умовах глобального потепління спостерігаються все більші відхилення у строках настання фенологічних фаз рослин та інших природних явищ (Menzel et al., 2020).

Оскільки природний (фенологічний) рік є поняттям збірним, яке враховує чинники живої і неживої природи, то його період починається з початком зими, а закінчується останнім днем осені. Саме таку періодизацію використовують у методичних рекомендаціях до здійснення фенологічних спостережень на всіх природоохоронних територіях (Феркаляк, 2019).

Тривалість метеорологічних пір року ми визначали двома способами. У першому випадку рахували тривалість метеорологічних сезонів у межах календарного року. У другому – від початку метеорологічної зими i -го року до закінчення метеорологічної осені $i + 1$ року. Як бачимо з рис. 1, суттєвих відмінностей у структурі природного року, визначеній цими двома способами, не спостерігається.

Найбільшу частку року в Луцьку становить літо – приблизно 33%, найменшу – зима (трохи більше 17%), на осінь і весну припадають майже однакові частки – по 24–25%. У середньому тривалість зими на метеостанції Луцьк у ХХІ ст. становить 64, весни – 92, літа – майже 119, осені – 90 днів.

Після визначення тривалості метеорологічних пір року в Луцьку ми побудували графік багаторічної динаміки тривалості кліматичних сезонів упродовж 2001–2024 рр. На рис. 2 бачимо, що досліджуваний показник має коливальний характер змін. Для зими характерна чітко виражена тенденція до зменшення її тривалості. Деяке скорочення сезону властиве й осені. Для літа й весни характерне значне зростання їх тривалості. Лінійні тренди змін тривалості весняного й зимового сезонів є статистично значущими (табл. 1).

Тривалість метеорологічних пір року є мінливою в часі. Наприклад, у 2022 р. весна налічувала 150 днів, а у 2013 р. – лише 36 днів. Літо найдовшим (140–146 днів) було у 2012, 2018 і 2023 рр., а найкоротшим – у 2001 р. (83 дні). Найбільш тривалою осінь була у 2013 р. (120 днів) і у 2022 р. (121 день), у 2018 і 2023 рр. вона була найкоротшою, відповідно 56 і 55 днів. Найдовша зима в межах одного календарного року (116 днів) спостерігалася у 2005 р., неперервний зимовий сезон був найдовшим у 2005/2006 рр. (127 днів)

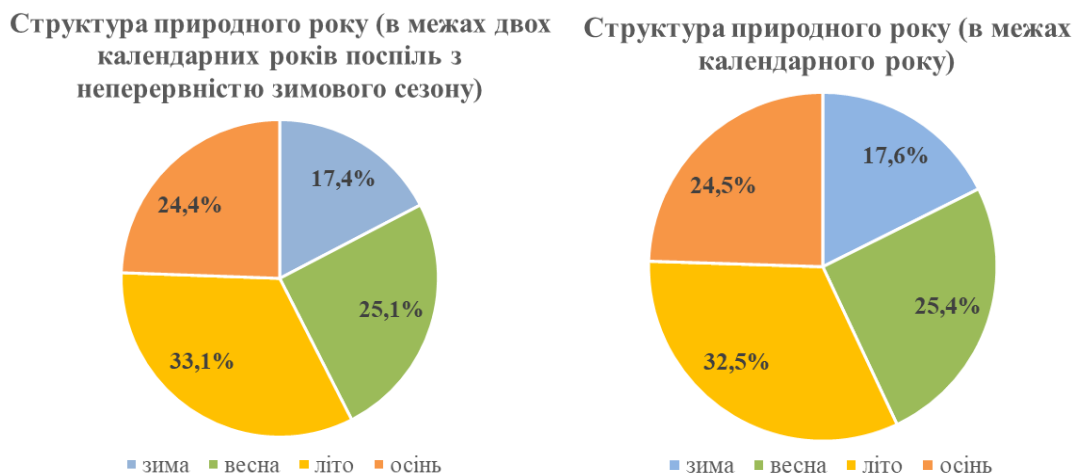


Рис. 1. Структура фенологічного (природного) року на метеостанції Луцьк (2001–2024 рр.)

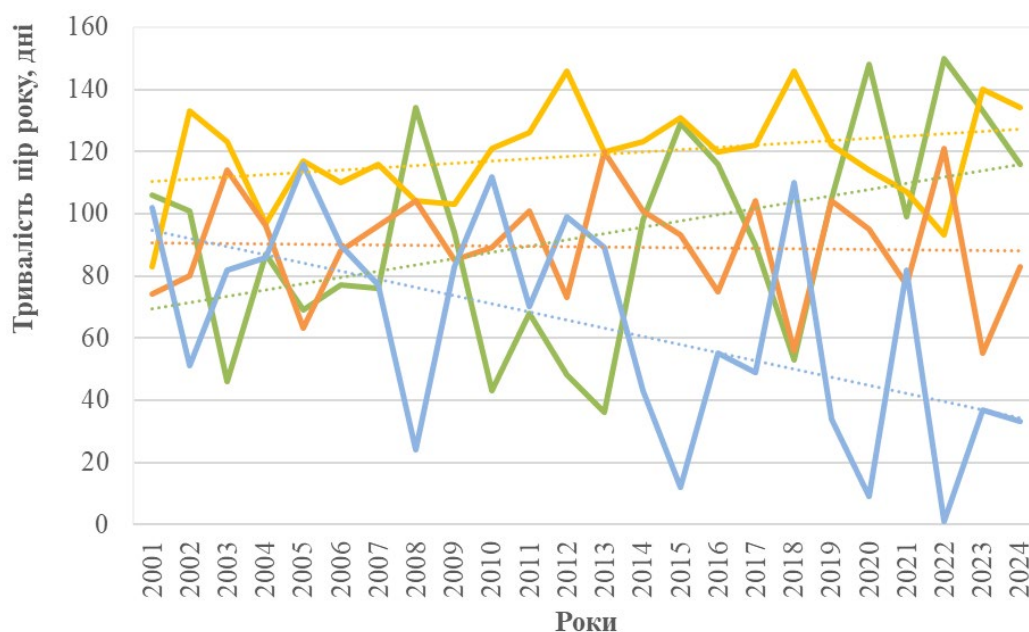


Рис. 2. Багаторічна динаміка тривалості метеорологічних пір року на метеостанції Луцьк (2001–2024 рр.)

Таблиця 1

Оцінювання значущості лінійних трендів коливань тривалості метеорологічних пір року на метеостанції Луцьк упродовж 2001–2024 рр.

Показник	Рівняння тренду*	R ²	R	σ _R	2σ _R	Статистична значущість тренду
Тривалість весни	y = 2,0191x + 67,344	0,1823	0,427	0,170	0,341	значущий
Тривалість літа	y = 0,7204x + 109,79	0,1035	0,322	0,187	0,374	незначущий
Тривалість осені	y = -0,1143x + 90,888	0,002	0,045	0,208	0,416	незначущий
Тривалість зими	y = -2,6174x + 97,134	0,2855	0,534	0,149	0,298	значущий

*Примітка: жовтий колір вказує на тенденцію до зростання значень показника, блакитний – на зменшення.

і у 2012/2013 рр. (118 днів). Найкоротшою (1 день) зима на МС Луцьк була у 2022/2023 рр. – по суті, зимового сезону як такого не було: 1 день (31 грудня) фіксувався фіктивно. У разі відсутності моменту переходу температури повітря через 0°C вниз із настанням холодного періоду в кінці календарного року один день (31 грудня) проставляється зимовим днем формально. У такому разі, навіть за відсутності похолодань надалі (на початку наступного календарного року впродовж холодного періоду), зберігається чотирисезонна структура року, передбачена в помірному-континентальному кліматі.

Екстремальні значення тривалості метеорологічних сезонів, виявлені в окремі роки досліджуваного періоду, мають особливе значення для розуміння масштабів кліматичних змін у регіоні. Найбільш показовим є приклад зими 2022/2023 рр., коли, по суті, відбулося фактичне випадіння цього сезону із кліматичного циклу року – явище, нетипове для помірного клімату Волинської області. Такі випадки вписуються в загальну тенденцію, виявлену в дослідженнях Р. Твардош і У. Коссовської-Цезак (Twardosz & Kossowska-Cezak, 2016): з останніх десятиліть ХХ ст. аномально холодні зими стали все рідкіснішими, а їхнє просторове покриття почало зменшуватися, що є чітким індикатором кліматичних змін на регіональному рівні.

Метеорологічна весна в Луцьку зазвичай починається в березні, в окремі роки – у лютому, досить часто – у січні. У 2013 р. весна розпочалася найпізніше за досліджуваний період – 30 березня, а у 2022 і 2023 рр. – найраніше (1 січня). Початок літа здебільшого припадає на першу половину травня, іноді – на кінець квітня (2003, 2010, 2012, 2018 рр.). У ХХІ ст. найраніше літо починалося у 2012 р. (27 квітня). Найпізнішим (у другій декаді червня) початок літа був у 2001 р. (16 червня) і 2006 р. (11 червня). Осінь настає зазвичай у вересні, хоча у 2003 і 2010 рр. вона розпочалася наприкінці серпня. У 2023 р. осінь настала 1 жовтня. Зима найчастіше починає свій відлік у грудні, але у 2001, 2005, 2010, 2018, 2023 рр. її старт припав на другу половину листопада. За досліджуваний проміжок часу найраніше зима починалася у 2018 р. (17 листопада), а найпізніше – у 2011, 2013, 2017, 2020, 2022 рр. (31 грудня).

Обговорення

Статистичний аналіз трендів тривалості метеорологічних сезонів на метеостанції

Луцьк показав достовірні скорочення зимового та збільшення весняного періодів, що відповідає загальним тенденціям, характерним для території України та Центральної Європи. Найбільш виразна тенденція скорочення зими вказує на суттєві зміни термічного режиму холодного періоду року в регіоні. Водночас збільшення тривалості весни свідчить про поступове зміщення фенологічних фаз і перебудову сезонної ритміки природних процесів.

Особливе значення мають виявлені випадки аномально коротких зим (аж до фактичної відсутності зимового сезону, як у 2022/2023 рр.), які можуть розглядатися як індикатори кліматичних змін екстремального характеру.

Означені вище закономірності багаторічної динаміки тривалості метеорологічних сезонів узгоджуються з висновками Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (ІРСС, 2021), які вказують на глобальну тенденцію подовження теплого та скорочення холодного періодів року. Особливо показовим є статистично значуще зменшення тривалості зими в регіоні дослідження. Характерно, що тенденція до скорочення осіннього сезону є менш вираженою, ніж зимового, що може пояснюватися компенсаторним механізмом: частина традиційно зимових днів за температурним режимом починає відповідати параметрам осені, що частково нівелює тенденцію до скорочення її тривалості.

Висновки

Тривалість природного (фенологічного) року на МС Луцьк щороку різна, на кілька днів або декад (навіть більше 4-х декад) є більшою або меншою від тривалості календарного року. У структурі природного року домінує літо, зима має найменшу частку, осінь і весна мають приблизно рівні частки – по чверті року. Для зимового й осіннього сезону характерні тенденції зменшення їхньої тривалості, а для літа й весни – зростання. Тривалість літа зростає насамперед завдяки вересневим дням, а тривалість весни збільшується через домінування додатних температур у січні та лютому. Метеорологічна зима скорочується через потепління в холодний період року. Осінній сезон, попри слабо виражену тенденцію до зменшення його тривалості, є найбільш стабільним за тривалістю. Змінюються лише його хронологічні межі – вони зміщуються до зими: у вересні часто ще триває літо, а у грудні – ще панує осінь.

Результати представлено дослідження можуть бути корисними для вивчення агрокліматичного, біокліматичного, рекреаційного потенціалів міста й прилеглих територій, а також є суттєвими для життєдіяльності людини та благоустрою урбоекосистем. Цікавим і необхідним бачиться подальше дослідження погодно-кліматичних умов метеорологічних (а не календарних) пір року: температури й відносної вологості атмосферного повітря, тривалості сонячного сйва, хмар-

ності, кількості й режиму випадання опадів, вітрового режиму, частоти прояву небезпечних метеорологічних явищ тощо. Отримана інформація про реальні часові рамки визначених метеорологічних і фенологічних явищ і процесів може мати високу цінність для оптимізації функціонування багатьох галузей економіки, своєчасного впровадження господарських заходів, а також для організації належних санітарно-побутових умов праці, проживання і відпочинку населення.

Список використаної літератури

Киналь О. Тривалість та часові межі кліматичних сезонів у Чернівцях на зламі XX–XXI ст. *Проблеми гірського ландшафтознавства*. 2014. Вип. 1. С. 101–108.

Кліматологічні дослідження та перспективи їх розвитку. УкрГМЦ [Електронний ресурс]. URL: <https://www.meteo.gov.ua/ua/Klimatolohichni-doslidzhennya> (дата звернення 11.07.2025).

Мельничук М., Мілінчук В., Павловська Т. Тривалість і часові рамки метеорологічної зими на метеостанції Луцьк. *Молода наука Волині: пріоритети та перспективи досліджень* : матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів і студентів, 17 травня 2022 р., м. Луцьк. Луцьк : ВНУ ім. Лесі Українки, 2022. С. 133–136.

Осадча В., Бабіченко В. Клімат Києва. Київ : Ніка-Центр, 2010. 320 с.

Павловська Т., Бакалейко В., Геналюк Р. Температурний режим на метеостанції Луцьк в умовах сучасних кліматичних змін. *Вплив кліматичних змін на просторовий розвиток територій Землі: наслідки та шляхи вирішення* : збірник наукових праць III Міжнародної науково-практичної конференції, м. Херсон, 11–12 червня 2020 р. Херсон : ДВНЗ «ХДАУ», 2020а. С. 172–176.

Павловська Т., Білецький Ю., Валянський С. Просторовий розподіл і режим випадання атмосферних опадів у Волинській області. *Географічний часопис Волинського національного університету імені Лесі Українки*. 2024а. Вип. 3. С. 13–23. <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2024.3.02>.

Павловська Т., Білецький Ю., Ступницька М. Тривалість і часові рамки кліматичних сезонів на метеостанції Ковель. *Суспільно-географічні чинники розвитку регіонів* : матеріали V Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, м. Луцьк, 8–9 квітня 2021 р. / за ред. Ю. Барського, С. Пугача. Луцьк : ПП Іванюк В.П., 2021а. С. 70–72.

Павловська Т., Білецький Ю., Ступницька М. Тривалість і часові рамки кліматичних сезонів на метеостанції Світязь. *Сучасна наука та освіта Волині* : збірник матеріалів Науково-практичної онлайн-конференції, м. Луцьк, 20 листопада 2020 р. / упоряд., гол. ред. О. Ройко. Луцьк : Вежа-Друк, 2020b. С. 181–182.

Павловська Т., Климюк В., Білецький Ю., Геналюк Р. Вітровий режим на метеостанції Луцьк (2001–2018 рр.). *Вплив кліматичних змін на просторовий розвиток територій Землі: наслідки та шляхи вирішення* : збірник наукових праць III Міжнародної науково-практичної конференції, м. Херсон, 11–12 червня 2020 р. Херсон : ДВНЗ «ХДАУ», 2020с. С. 189–192.

Павловська Т., Кондратчук О., Михалюк А., Ройко С. Режим випадання опадів на метеостанції Луцьк упродовж 2001–2022 рр. *Ricerche scientifiche e metodi della loro realizzazione: esperienza mondiale e realtà domestiche* : Raccolta di articoli scientifici “ΛΟΓΟΣ” con gli atti della VI Conferenza scientifica e pratica internazionale, Bologna, 15 novembre, 2024. Bologna ; Vinnytsia : Associazione Italiana di Storia Urbana & UKRLOGOS Group LLC, 2024b. С. 385–390. <https://doi.org/10.36074/logos-15.11.2024.085>.

Павловська Т., Мельничук М., Гарасимяк А. Тривалість і часові рамки метеорологічної весни у Волинській області на початку XXI ст. *Rozwój nowoczesnej edukacji i nauki – stan, problemy, perspektywy. Tom X : Efekty uczestnictwa w rozwoju nauk i edukacji na odległość* / Red. : J. Grzesiak, I. Zymomruga, W. Ilnytskyj. Konin ; Uzhorod ; Chersoń : Poswit, 2021b. S. 297–299.

Павловська Т., Мельничук М., Ступницька М. Тривалість і часові рамки зимового сезону у Волинській області на початку XXI ст. *Актуальні проблеми регіональних досліджень* : матеріали V Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, м. Луцьк, 11 грудня 2020 р. Луцьк : Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2020d. С. 30–32.

Павловська Т., Пархомук О., Нікон О. Тривалість і часові рамки кліматичних сезонів на метеостанції Маневичі (Волинська область). *Географія та туризм* : матеріали VI Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції Харківського національного педагогічного університету імені Г.С. Сковороди, м. Харків, 28 лютого – 1 березня 2023 р. / за заг. ред. Ю. Муромцевої. Харків : ХНПУ ім. Г.С. Сковороди, 2023а. С. 209–215.

Павловська Т., Стельмах В. 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. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-499-3-4>.

Павловська Т., Федонюк М., Рудик О. Температурний режим повітря у Волинській області : хронологічний та хорологічний аспекти. *Географічний часопис Волинського національного університету імені Лесі Українки*. 2023b. Вип. 1. С. 39–48. <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2023.1.04>.

Проведення просторового аналізу змін водного режиму басейнів поверхневих водних об'єктів на території України внаслідок зміни клімату : звіт про НДР / УкрГМІ ДСНС України та НАН України. Київ, 2013. 228 с.

Скобало О., Горбань І., Гребельна В. Фенокліматична періодизація в заповіднику «Розточчя». *Вісник Львівського університету*. Серія «Біологічна». 2013. Вип. 63. С. 98–109.

Сніжко С., Шевченко О. Урбометеорологічні аспекти забруднення атмосферного повітря великого міста. Київ : Обрії, 2011. 297 с.

Тарасюк Н., Тарасюк Ф. Регіональні дослідження сучасного клімату Волині. *Актуальні проблеми крайнознавчої науки* : матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, м. Луцьк, 15–16 листопада 2016 р. / за ред. В. Лажніка. Луцьк : Вежа-Друк, 2016. С. 259–263.

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України [Електронний ресурс]. URL: <https://uhmi.org.ua> (дата звернення 20.05.2025).

Феркаляк В. НПП «Верховинський»: архівний сайт. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України [Електронний ресурс]. URL: https://nppver.at.ua/news/rik_kalendarnij_chi_rik_fenologichnij/2019-03-19-711 (дата звернення 14.05.2025).

Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського [Електронний ресурс]. URL: <http://sco-sreznevskiy.kyiv.ua> (дата звернення 20.05.2025).

Шульгіна Л. Фенологічні спостереження над деревними та кущовими рослинами. Київ : Наукова думка, 1966. 152 с.

Blöschl G., Hall J., Parajka J., Perdigão R.A.P., Merz B., Arheimer B., Aronica G.T., Bilibashi A., Bonacci O., Borga M. et al. Changing climate shifts timing of European floods. *Science*. 2017. Vol. 357 (6351). P. 588–590.

IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2021. 2391 p.

Ihne E. Phaenologische Karte des Frühlingseinzugs im Großherzogtum Hessen. Darmstadt : Verlag der Landwirtschaftskammer, 1911. 25 p.

Köppen W. Die Klimate der Erde. Grundriss der Klimakunde. Berlin : Walter de Gruyter, 1923. 369 p.

Menzel A., Yuan Y., Matiu M., Sparks T., Scheifinger H., Gehrig R., Estrella N., Jakisic L., Janise A., Koch E. et al. Climate change fingerprints in recent European plant phenology. *Global Change Biology*. 2020. Vol. 26 (4). P. 2599–2612. <https://doi.org/10.1111/gcb.15000>.

Rutishauser T., Luterbacher J., Defila C., Frank D., Wanner H. Swiss spring plant phenology 2007: Extremes, a multi-century perspective, and changes in temperature sensitivity. *Geophysical Research Letters*. 2008. Vol. 35. P. L05703. <https://doi.org/10.1029/2007GL032545>.

Schwartz M.D. Phenology and springtime surface-layer change. *Monthly Weather Review*. 1992. Vol. 120. P. 2570–2578.

Schwartz M.D., Ahas R., Aasa A. Onset of spring starting earlier across the Northern Hemisphere. *Global Change Biology*. 2006. Vol. 12. P. 343–351. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01097.x>.

Sparks T.H., Menzel A. Observed changes in seasons: an overview. *International Journal of Climatology*. 2002. Vol. 22 (14). P. 1715–1725. <https://doi.org/10.1002/joc.821>.

Templ B., Koch E., Bolmgren K., Ungersböck M., Paul A., Scheifinger H. et al. Pan European Phenological database (PEP725): a single point of access for European data. *International Journal of Biometeorology*. 2018. Vol. 62. P. 1109–1113. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1512-8>.

Twardosz R., Kossowska-Cezak U. Exceptionally cold and mild winters in Europe (1951–2010). *Theoretical and Applied Climatology*. 2016. Vol. 125. P. 399–411. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1524-9>.

USA National Phenology Network [Електронний ресурс]. URL: <https://www.usanpn.org> (дата звернення 20.05.2025).

References

Kynal, O.V. (2014). Tryvalist ta chasovi mezhi klimatychnykh sezoniv u Chernivtsiakh na zlami XX–XXI stolit [Duration and temporal boundaries of climatic seasons in Chernivtsi at the turn of XX–XXI centuries]. *Problemy hirskeho landshaftoznavstva [Problems of Mountain Landscape Studies]*, 1, 101–108 [in Ukrainian].

Klimatolohichni doslidzhennia ta perspektyvy yikh rozvytku. UkrHMTs [Climatological research and prospects for their development. UkrHMC]. [Electronic resource] URL: <https://www.meteo.gov.ua/ua/Klimatolohichni-doslidzhennia> (access date 11.07.2025) [in Ukrainian].

Melnychuk, M.A., Milinchuk, V.V., & Pavlovska, T.S. (2022). Tryvalist y chasovi ramky meteorolohichnoi zymy na meteostantsii Lutsk [Duration and temporal boundaries of meteorological winter at Lutsk weather station]. *Moloda nauka Volyn i: priorityty ta perspektyvy doslidzhen [Young science of Volyn: priorities and prospects of research]*. Lutsk: VNU im. Lesi Ukrainky, 133–136 [in Ukrainian].

Osadcha, V.O., & Babichenko, V.M. (2010). *Klimat Kyieva [Climate of Kyiv]*. Kyiv: Nika-Tsentr [in Ukrainian].

Pavlovska, T.S., Bakaleyko, V.A., & Henaliuk, R.M. (2020a). Temperaturnyi rezhym na meteostantsii Lutsk v umovakh suchasnykh klimatychnykh zmin [Temperature regime at Lutsk weather station under modern climate change conditions]. *Zb. nauk. prats III Mizhnar. nauk.-prakt. konf. "Vplyv klimatychnykh zmin na prostоровi rozvytok terytorii Zemli: naslidky ta shliakhy vyrishennia" [Collection of scientific works of the III International scientific-practical conference "The impact of climate change on the spatial development of Earth's territories : consequences and solutions"]*. Kherson, 172–176 [in Ukrainian].

Pavlovska, T.S., Biletskyi, Yu.V., & Valianskyi, S.V. (2024a). Prostоровi rozpodil i rezhym vypadannia atmosferynykh opadiv u Volynskii oblasti [Spatial distribution and regime of atmospheric precipitation in Volyn region]. *Heohrafichni chasopys Volynskoho natsionalnogo universytetu imeni Lesi Ukrainky [Geographical Journal of Lesya Ukrainka Volyn National University]*, 3, 13–23. <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2024.3.02> [in Ukrainian].

Pavlovska, T., Biletskyi, Yu., & Stupnytska, M. (2021a). Tryvalist y chasovi ramky klimatychnykh sezoniv na meteostantsii Kovel [Duration and temporal boundaries of climatic seasons at Kovel weather station]. *Materialy V Mizhnar. nauk.-prakt. internet-konferentsii "Suspilno-heohrafichni chynnyky rozvytku rehioniv" [Proceedings of the V International scientific-practical internet-conference "Social-geographical factors of regional development"]*, Yu.M. Barskyi, S.O. Puhach (ed.). Lutsk: PP Ivaniuk V.P., 70–72 [in Ukrainian].

Pavlovska, T., Biletskyi, Yu., & Stupnytska, M. (2020b). Tryvalist i chasovi ramky klimatychnykh sezoniv na meteostantsii Svityaz [Duration and temporal boundaries of climatic seasons at Svityaz weather station]. *Zb. materialiv Nauk.-prakt. onlain-konf. "Suchasna nauka ta osvita Volyni" [Collection of materials of Scientific-practical online conference "Modern science and education of Volyn"]*, O.Yu. Roiko (ed.). Lutsk: Vezha-Druk, 181–182 [in Ukrainian].

Pavlovska, T.S., Klymiuk, V.I., Biletskyi, Yu.V., & Henaliuk, R.M. (2020c). Vitrovyi rezhym na meteostantsii Lutsk (2001–2018 rr.) [Wind regime at Lutsk weather station (2001–2018)]. *Zb. nauk. prats III Mizhnar. nauk.-prakt. konf. "Vplyv klimatychnykh zmin na prostоровi rozvytok terytorii Zemli: naslidky ta shliakhy vyrishennia" [Collection of scientific works of the III International scientific-practical conference "The impact of climate change on the spatial development of Earth's territories: consequences and solutions"]*. Kherson: DVNZ "KhDAU", 189–192 [in Ukrainian].

Pavlovska, T.S., Kondratchuk, O.V., Mykhaliuk, A.M., & Royko, S.R. (2024b). Rezhym vypadannia opadiv na meteostantsii Lutsk uprodovzh 2001–2022 rr. [Precipitation regime at Lutsk weather station during 2001–2022]. *Ricerche scientifiche e metodi della loro realizzazione: esperienza mondiale e realtà domestiche [Scientific research and methods of their implementation: world experience and domestic realities]*. Bologna; Vinnitsia: Associazione Italiana di Storia Urbana & UKRLOGOS Group LLC, 385–390. <https://doi.org/10.36074/logos-15.11.2024.085> [in Ukrainian].

Pavlovska, T., Melnychuk, M., & Harasymiak, L. (2021b). Tryvalist y chasovi ramky meteorolohichnoi vesny u Volynskii oblasti na pochatku XXI st. [Duration and temporal boundaries of meteorological

spring in Volyn region at the beginning of XXI century]. *Rozwój nowoczesnej edukacji i nauki – stan, problemy, perspektywy* [Development of modern education and science – state, problems, perspectives], J. Grzesiak, I. Zymomrya, & W. Ilnytskyj (Eds.), 10, 297–299 [in Ukrainian].

Pavlovska, T.S., Melnychuk, M.A., & Stupnytska, M.M. (2020d). Tryvalist y chasovi ramky zymovoho sezonu u Volynskii oblasti na pochatku XXI st. [Duration and temporal boundaries of winter season in Volyn region at the beginning of XXI century]. *Materialy V Mizhn. nauk.-prakt. internet-konf. "Aktualni problemy rehionalnykh doslidzhen"* [Proceedings of the V International scientific-practical internet-conference "Current problems of regional research"]. Lutsk: Volyn. nats. un-t im. Lesi Ukrainky, 30–32 [in Ukrainian].

Pavlovska, T.S., Parkhomuk, O.V., & Nikon, O.Ye. (2023a). Tryvalist i chasovi ramky klimatychnykh sezoniv na meteostantsii Manevychi (Volynska oblast) [Duration and temporal boundaries of climatic seasons at Manevychi weather station (Volyn region)]. *Materialy VI Vseukr. nauk.-prakt. internet-konf. Heohrafiia ta turizm* [Proceedings of the VI All-Ukrainian scientific-practical Internet-conference Geography and tourism]. Kharkiv: KhNPU im. H.S. Skovorody, 209–215 [in Ukrainian].

Pavlovska, T.S., & Stelmakh, V.Yu. (2024). Prostorovo-chasova dynamika zmin vidnosnoi volohosti povitria u Volynskii oblasti [Spatio-temporal dynamics of relative humidity changes in Volyn region]. *Science, technology and innovation in the context of global transformation: Scientific monograph*. Riga: Baltija Publishing, 65–95. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-499-3-4> [in Ukrainian].

Pavlovska, T.S., Fedoniuk, M.A., & Rudyk, O.V. (2023b). Temperaturnyi rezhym povitria u Volynskii oblasti: khronolohichnyi ta khorolohichnyi 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. <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2023.1.04> [in Ukrainian].

Provedenniaa prostoroovoho analizu zmin vodnoho rezhymu baseiniv poverkhnevnykh vodnykh ob'ektiv na terytorii Ukrainy vnaslidok zminy klimatu: zvit pro NDR [Conducting spatial analysis of water regime changes in surface water basins on the territory of Ukraine due to climate change: research report] (2013). *UkrHMI DSNS Ukrainy ta NAN Ukrainy* [in Ukrainian].

Skobalo, O., Horban, I., & Hrebelsna, V. (2013). Fenoklimatychna periodyzatsiia v zapovydnyku "Roztochia" [Phenoclimatic periodization in "Roztochia" nature reserve]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seria: Biolohichna* [Bulletin of Lviv University. Seria: Biological], 63, 98–109 [in Ukrainian].

Snizhko, S.I., & Shevchenko, O.H. (2011). Urbometeorolohichni aspekty zabrudnennia atmosfernoho povitria velykoho mista [Urbometeorological aspects of atmospheric air pollution in a large city]. *Kyiv: Obrii* [in Ukrainian].

Tarasiuk, N.A., & Tarasiuk, F.P. (2016). Rehionalni doslidzhennia suchasnoho klimatu Volyni [Regional studies of modern climate of Volyn]. *Materialy IV Mizhnar. nauk.-prakt. internet-konferentsii "Aktualni problemy krainoznavchoi nauky"* [Proceedings of the IV International scientific-practical internet-conference "Current problems of country studies"], V.Y. Lazhnik (ed.). Lutsk: Vezha-Druk, 259–263 [in Ukrainian].

Ukrainskyi hidrometeorolohichnyi instytut DSNS Ukrainy ta NAN Ukrainy [Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine and NAS of Ukraine]. [Electronic resource] URL: <https://uhmi.org.ua> (access date 20.05.2025) [in Ukrainian].

Ferkaliak, V. (2019). NPP "Verkhovynskiy": arkhivnyi sait. Ministerstvo zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy [NPP "Verkhovynskiy": archive site. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine]. [Electronic resource] URL: https://nppver.at.ua/news/rik_kalendarnij_chi_rik_fenologichnij/2019-03-19-711 (access date 14.05.2025) [in Ukrainian].

Tsentralna heofizychna observatoriia imeni Borysa Sreznevokoho [Boris Sreznevsky Central Geophysical Observatory]. [Electronic resource] URL: <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua> (access date 20.05.2025) [in Ukrainian].

Shulhina, L.B. (1966). Fenolohichni sposterezhennia nad derevnymy ta kushchovymy rosynamy [Phenological observations of tree and shrub plants]. *Kyiv: Naukova dumka* [in Ukrainian].

Blöschl, G., Hall, J., Parajka, J., Perdigão, R.A.P., Merz, B., Arheimer, B., Aronica, G.T., Bilibashi, A., Bonacci, O., & Borga, M., et al. (2017). Changing climate shifts timing of European floods. *Science*, 357 (6351), 588–590.

IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Ihne, E. (1911). Phaenologische Karte des Frühlingseinzugs im Großherzogtum Hessen. Verlag der Landwirtschaftskammer.

Köppen, W. (1923). Die Klimate der Erde. Grundriss der Klimakunde. Walter de Gruyter.

Menzel, A., Yuan, Y., Matiu, M., Sparks, T., Scheifinger, H., Gehrig, R., Estrella, N., Jakisic, L., Janise, A., & Koch, E., et al. (2020). Climate change fingerprints in recent European plant phenology. *Global Change Biology*, 26 (4), 2599–2612. <https://doi.org/10.1111/gcb.15000>.

Rutishauser, T., Luterbacher, J., Defila, C., Frank, D., & Wanner, H. (2008). Swiss spring plant phenology 2007: Extremes, a multi-century perspective, and changes in temperature sensitivity. *Geophysical Research Letters*, 35, L05703. <https://doi.org/10.1029/2007GL032545>.

Schwartz, M.D. (1992). Phenology and springtime surface-layer change. *Monthly Weather Review*, 120, 2570–2578.

Schwartz, M.D., Ahas, R., & Aasa, A. (2006). Onset of spring starting earlier across the Northern Hemisphere. *Global Change Biology*, 12, 343–351. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01097.x>.

Sparks, T.H., & Menzel, A. (2002). Observed changes in seasons: an overview. *International Journal of Climatology*, 22 (14), 1715–1725. <https://doi.org/10.1002/joc.821>.

Templ, B., Koch, E., Bolmgren, K., Ungersböck, M., Paul, A., Scheifinger, H., et al. (2018). Pan European Phenological database (PEP725): a single point of access for European data. *International Journal of Biometeorology*, 62, 1109–1113. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1512-8>.

Twardosz, R., & Kossowska-Cezak, U. (2016). Exceptionally cold and mild winters in Europe (1951–2010). *Theoretical and Applied Climatology*, 125, 399–411. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1524-9>.

USA National Phenology Network. [Electronic resource] URL: <https://www.usanpn.org> (access date 20.05.2025).

Отримано: 18.07.2025

Прийнято: 28.08.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 551.576(477.82) «2001/2020»
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.18>

ХМАРНІСТЬ НА МЕТЕОСТАНЦІЇ ЛУЦЬК І ТЕНДЕНЦІЇ ЇЇ ЗМІН УПРОДОВЖ 2001–2020 РОКІВ

С. В. Стельмах¹, Т. С. Павловська², Б. С. Жданюк³

Статтю присвячено дослідженню річного режиму загальної хмарності та багаторічних тенденцій змін її місячних, сезонних і річних значень на метеостанції Луцьк упродовж 2001–2020 років у контексті глобальних кліматичних змін та їхніх регіональних проявів у Волинській області. У роботі використано фондові матеріали Волинського обласного центру з гідрометеорології та застосовано математико-статистичний, графічний, системний, описовий і порівняльно-географічний методи дослідження. Установлено, що середньорічна хмарність на метеостанції становить 6,4 бала. Найвища хмарність спостерігається взимку (7,9 бала), найнижча – улітку (5,5 бала). У холодний період року (листопад – березень) хмарність становить 7,5 бала, у теплий період (квітень – жовтень) – 5,6 бала. Щодо місяців року, то максимальні значення хмарності характерні для грудня та січня (відповідно 8,0–8,1 бала), а мінімальні (5,0 балів) – у серпні. Ключовим результатом дослідження є виявлення статистично значущих трендів зростання хмарності для середньорічних значень, середніх значень хмарності холодного і теплого періодів року, зимового та літнього сезонів. Виявлена тенденція зростання хмарності свідчить про суттєві зміни кліматичних умов регіону та пояснюється фізичними механізмами розвитку кліматичних процесів, зокрема підвищенням температури атмосферного повітря, інтенсифікацією процесів випаровування та хмароутворення з подальшим перенесенням вологих повітряних мас з Атлантичного океану на схід у помірному кліматичному поясі. Отримані результати мають велике наукове та практичне значення для розуміння регіональних проявів глобальних кліматичних змін у Волинській області, розроблення адаптаційних стратегій для сільського, лісового та водного господарства регіону, а також для про-

¹ кандидат географічних наук,
доцент кафедри фізичної географії
(Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк)
e-mail: stelmakh.valia@vnu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-7106-4242

² кандидат географічних наук,
доцент кафедри фізичної географії
(Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк)
e-mail: pavlovska.tatjana@vnu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-4931-0803

³ кандидат географічних наук,
доцент кафедри комп'ютерних та інформаційних технологій
(Відокремлений структурний підрозділ закладу вищої освіти
«Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», Дубенська філія, м. Дубно)
e-mail: Geronimo.bog@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0171-3825

гнозування майбутніх змін погодно-кліматичних умов і оцінювання їхнього впливу на різні сектори економіки, стан екосистем і добробут населення.

Ключові слова: Волинська область, клімат, лінійний тренд, метеостанція Луцьк, хмарність, хмари, статистична значущість лінійного тренду.

LOUDINESS AT LUTSK WEATHER STATION AND TRENDS OF ITS CHANGES DURING 2001–2020

V. Yu. Stelmakh, T. S. Pavlovska, B. S. Zhdaniuk

The article is devoted to the study of the annual regime of total cloudiness and long-term trends in changes of its monthly, seasonal and annual values at Lutsk weather station during 2001–2020 in the context of global climate change and its regional manifestations in Volyn region. The work uses archival materials from the Volyn Regional Hydrometeorological Center and applies mathematical-statistical, graphical, systematic, descriptive and comparative-geographical research methods. It has been established that the average annual cloudiness at the weather station is 6,4 points. The highest cloudiness is observed in winter (7,9 points), the lowest in summer (5,5 points). During the cold period of the year (November – March) cloudiness is 7,5 points, during the warm period (April – October) – 5,6 points.

Regarding the months of the year, maximum cloudiness values are characteristic in December and January (respectively 8,0–8,1 points), and minimum values (5,0 points) in August. A key result of the study is the identification of statistically significant increasing trends in cloudiness for annual mean values, mean values of cloudiness during cold and warm periods of the year, winter and summer seasons. The identified trend of increasing cloudiness indicates significant changes in the climatic conditions of the region and is explained by the physical mechanisms of climate process development, particularly the increase in atmospheric air temperature, intensification of evaporation and cloud formation processes, with subsequent transport of moist air masses from the Atlantic Ocean eastward in the temperate climate zone. The obtained results have important scientific and practical significance for understanding regional manifestations of global climate change in Volyn region, developing adaptation strategies for agriculture, forestry and water management in the region, as well as for forecasting future changes in weather and climate conditions and assessing their impact on various economic sectors, ecosystem conditions and population welfare.

Key words: Volyn region, climate, linear trend, Lutsk meteorological station, cloudiness, clouds, statistical significance of linear trend.

Вступ

Глобальні зміни клімату є достовірним і загально визнаним фактом сучасності. На фоні відносно плавних еволюційних змін погодно-кліматичних характеристик відбуваються і більш різкі зміни погоди протягом доби чи декади. У помірному кліматичному поясі все частішими стають прояви екстремальних погодних явищ (сильні вітри, зливи, град, посухи, спекотні періоди) та супроводжувани ними паводки, повені, обміління річок і водойм, зсуви, селі, обвали тощо. Актуальність цієї проблеми посилюється її далекосяжним впливом на здоров'я населення, продовольчу, екологічну й геополітичну безпеку, стає функціонування економіки. Найбільш вразливими до проявів зміни клімату можуть виявитися сільське, лісове й водне господарство й енергетика (Іванюта та ін., 2020). Саме ці галузі економіки є провідними у Волинській області, оскільки регіон на третину площі вкритий лісами, має значний потенціал водних ресур-

сів (137 річок і 266 озер, 11 водосховищ, понад 1 200 ставків), велику частку болотних угідь (7,6%), значний рівень сільськогосподарської освоєності (52%) (Павловська, 2019; Екологічний ..., 2023; Регіональна ..., 2023). Тому вивчення кліматичних змін регіону має велике практичне значення. Адже для збереження екосистем і економічного розвитку краю важливі знання про мінливість погодно-кліматичних характеристик.

У наукових дослідженнях найчастіше простежуються аналітичний огляд і моделювання динаміки змін показників температури атмосферного повітря та режиму зволоження, відносної вологості повітря, тривалості сонячного сяйва, вітрового режиму. Значно менше уваги приділяється вивченню змін хмарності. Ступінь покриття неба хмарами має неабияке значення для вегетації, отже, для сільського й лісового господарства, є наслідком і водночас впливає на температурний режим, процеси випаровування та конденсації, що акту-

ально для перебігу гідрологічних процесів і явищ, фізіологічних процесів в організмах. Зрештою, хмарність є обов'язковою умовою для випадання опадів. Окрім того, хмари мають вплив на естетику навколишнього середовища, атрактивність ландшафтів. Нині відкритими залишаються питання впливу хмар (їхньої площі поширення, потужності, висоти над землею поверхнею, кольору, температури) на глобальні зміни клімату. Адже, з одного боку, вони відбивають приблизно 20% сонячного випромінювання, тобто вдень вони охолоджують земну поверхню. Якщо глобальний ступінь хмарності збільшиться приблизно на 2%, то зростання альбеда може компенсувати потепління, спричинене вивільненням парникових газів унаслідок антропогенної діяльності. Із другого боку, хмари посилюють парниковий ефект, стримують приблизно 10% термічного випромінювання Землі як уночі, так і вдень. Тому з'ясувати достеменно роль хмар у загальній кліматичній системі досить складно (Heintzenberg & Lupp, 2011).

Від режимів хмарності й інсоляції залежить і здоров'я населення: алергічні прояви, стан шкіри й очей, синтез в організмі окремих вітамінів (зокрема, D) і гормонів (наприклад, серотоніну), що впливає на кісткову й імунну системи, настрої, утомлюваність, сонливість тощо (Вітамін D ..., 2021; УФ-індекс, 2024).

Уважаємо, що з'ясування тенденцій багаторічної динаміки величин кліматичних параметрів (хмарності також) і науково обґрунтована адаптація до виявлених змін дозволять зменшити негативні наслідки та скористатися сприятливими можливостями трансформації кліматичної системи та її окремих характеристик.

У сучасних зарубіжних дослідженнях значну увагу приділяють аналізу багаторічної мінливості хмарності в контексті кліматичних змін. Комплексний аналіз змін хмарності в Європі провели А. Сфіка, Х. Бек, А. Ніта, М. Войкулеску, М. Бирсан і А. Філіп (Sfîcă et al., 2021), які дослідили зміни хмарності, зумовлені атмосферною циркуляцією в Європі протягом 1981–2014 рр. Дослідження виявило зменшення хмарності над внутрішньою частиною регіону у зв'язку зі збільшенням типів циркуляції, пов'язаних із центрами високого тиску. Вплив лісового покриву на регіональні кліматичні умови, зокрема й хмарність, досліджували М. Брейль, В. Шнайдер

і Х. Пінто (Breil et al., 2024), які показали збільшення хмарності над Центральною та Східною Європою в період 1986–2015 рр. Особливий інтерес становлять дослідження А. Тейлінга, К. Тейлора, Й. Мейрінка, Л. Мелсен, Д. Міраллеса, К. ван Гірвардена та Х. ван Арпельяно (Teuling et al., 2017), які виявили підвищення хмарності над лісовими територіями Західної Європи.

Важливими є праці Д. Матушко, К. Бартошека та Я. Сороки (Matuszko et al., 2022), які дослідили довгострокову мінливість хмарності в Польщі впродовж 1971–2020 рр. Детальний аналіз хмарності та її різновидів на межі ХХІ ст. представлено в роботі К. Шиги-Плюти (Szyga-Pluta, 2022) для міста Познань (Польща). Довгострокові тенденції змін хмарності в Середземноморському регіоні досліджував Г. Беллокі (Bellocchi, 2024). Дослідження змін хмарності в Балтійському регіоні, проведені П. Постом і М. Ауном (Post & Aun, 2023), показали зменшення хмарності в усі сезони, що сприяє подовженню літа. Супутникові дані CLARA-A2 за 1982–2018 рр. засвідчили значне зростання сонячної радіації в Балтійському регіоні, що пов'язано зі зменшенням хмарності. Систематичний моніторинг хмарності в Європі здійснює Служба зі змін клімату Коперніка (Copernicus ..., 2025) і відображає це в серії щорічних звітів «Стан клімату Європи». Спостереження показують, що Східна Європа характеризується тенденцією до зменшення хмарності порівняно із Західною Європою. Аналогічні закономірності можуть проявлятися і в межах України: західні області, які розташовані ближче до Атлантики, можуть мати інші тенденції хмарності порівняно зі східними. Особливе значення для розуміння просторових відмінностей хмарності в Україні має кліматична вісь Воейкова, яка розділяє територію країни на дві кліматичні області: одну з переважанням циклональної діяльності, другу – з домінуванням антициклональних процесів, що й зумовлює різні режими хмароутворення.

Значний науковий інтерес становлять дослідження впливу урбанізації на хмарність. Н. Тювес, Д. Барлоу, А. Тейлінг, С. Гріммонд і С. Коттгауз (Theeuwes et al., 2019) показали, що мегаполіси Париж і Лондон посилюють процеси хмароутворення через ефект міського «острова тепла». Дослідники виявили підвищення хмарності над містами на 510 % порівняно з навколишніми сільськими районами. Аспекти

впливу хмарності на міське середовище розглядали Ш. Ву, Б. Чен, Д. Ан та інші (Wu et al., 2024), які проаналізували 1 353 міста США з використанням LiDAR-даних і встановили, що хмарність і міська забудова суттєво обмежують надходження сонячної радіації до поверхні.

Питання змін хмарності та її параметрів вивчається і українськими науковцями. Вертикальний і горизонтальний розподіл фазового стану у хмарах різних форм досліджували Т. Заболоцька, В. Підгурська та Т. Шпиталь (Заболоцька та ін., 2011). Важливим напрямом досліджень є вивчення режиму хмарності в контексті оцінювання природної освітленості земної поверхні. В. Затула (Затула, 2013) розробив методичні підходи до врахування хмарності в розрахунках інсоляції. Подальший розвиток цього напрямку висвітлено в роботі В. Затули, Я. Кихтенко, Р. Олійника та С. Сніжко (Затула та ін., 2021), які провели статистичний аналіз параметрів прозорості та хмарності атмосфери на півдні України. Комплексне дослідження хмарності у Волинській області впродовж 2010–2021 рр. здійснили В. Федонюк, О. Гусар і М. Федонюк (Федонюк та ін., 2023). Особливості режиму низької хмарності на метеостанції Івано-Франківськ досліджували Н. Міщенко й А. Ламанова (Міщенко і Ламанова, 2022). Просторові відмінності в тенденціях змін хмарності відображено в регіональних дослідженнях Л. Недострелової (Недострелова, 2016). Характеристика основних форм хмарності та їхньої повторюваності представлена у праці К. Чернової (Чернова, 2017).

Загальнонаціональні проєкції хмарності для України розроблено С. Краковською, А. Паламарчук, А. Білозеровою та Т. Шпиталь (Краковська та ін., 2017) на основі ансамблю з 9 регіональних кліматичних моделей. Отриманий прогноз загальної хмарності до середини XXI ст. показує незначне зменшення середньорічних значень – на 0,1–0,2 бала в центральних областях у період 2011–2030 рр. і на півдні та сході країни впродовж 2031–2050 рр. На решті території суттєвих змін середньорічних значень не очікується. У річному ході прогнозується неоднозначний характер змін полів загальної хмарності.

Комплексне вивчення кліматичних характеристик на метеостанції Луцьк теж у полі зору багатьох українських дослідників. Температурний режим вивчали В. Бакалейко, Р. Геналюк, Т. Павловська, О. Рудик, М. Федонюк (Павловська та ін., 2020а; Павловська та ін., 2023), режим атмосферних опадів – Ю. Білецький, С. Валянський, О. Кондратчук, А. Михалюк, Т. Павловська, С. Ройко (Павловська та ін.,

2024а; Павловська та ін., 2024б; Павловська, 2025а; Павловська, 2025b), відносну вологість повітря – О. Нікон, Т. Павловська, О. Рудик, В. Стельмах (Павловська і Стельмах, 2024; Павловська та ін., 2025а), вітровий режим – Ю. Білецький, Р. Геналюк, І. Климюк, А. Панкевич, М. Панкевич, С. Панкевич, Т. Павловська, В. Федонюк (Павловська та ін., 2020b; Fedoniuk et al., 2024), структуру природного року й тривалість метеорологічних пір року – М. Мельничук, В. Мілінчук, Т. Павловська (Мельничук та ін., 2022). Мікрокліматичні особливості міста проаналізували І. Вдовичук, І. Нетробчук (Нетробчук і Вдовичук, 2018). Формування та просторовий розподіл «острова тепла» над Луцьком вивчали А. Прохоренко, В. Федонюк, М. Федонюк (Федонюк та ін., 2018), над іншими містами області – В. Стельмах та І. Нетробчук (Стельмах і Нетробчук, 2023). Дослідження сучасного клімату Волині проводили Н. Тарасюк, Ф. Тарасюк (Тарасюк і Тарасюк, 2016). Інструментальні спостереження за кліматом регіону здійснюються на метеостанціях краю, систематизація та аналітичний огляд даних – у Волинському обласному центрі з гідрометеорології.

Окремим напрямом досліджень кліматичних характеристик Луцька є вивчення хмарності. І. Нетробчук і В. Горбач (Нетробчук і Горбач, 2019) створили атлас хмар як наочний посібник для вивчення хмарності в регіоні. Динаміку хмарності в Луцьку у XXI ст. (2010–2020 рр.) та вплив останньої на геліоенергетичний потенціал з'ясували О. Гусар і В. Федонюк (Husar & Fedoniuk, 2022; Fedoniuk et al., 2022).

Попри наявність окремих досліджень хмарності в регіоні, відсутній детальний аналіз багаторічної динаміки цього параметра на метеостанції Луцьк у контексті сучасних кліматичних змін.

Метою нашого дослідження є вивчення річного режиму та тенденцій змін місячних, сезонних і річних значень загальної хмарності на метеостанції Луцьк упродовж 2001–2020 рр. Для цього було виконано низку завдань: 1) визначено середні місячні значення хмарності за досліджуваній період і побудовано графік її річного режиму; 2) визначено щорічні середні значення хмарності кожного кліматичного сезону, холодного і теплого періодів року; 3) за допомогою Microsoft Excel 2019 побудовано графіки динаміки середніх місячних, сезонних і річних значень хмарності, визначено рівняння лінійних трендів і величини вірогідності апроксимації; 4) здійснено оцінювання статистичної значущості лінійних трендів (Розроблення ..., 2013); 5) побудовано графіки динаміки середніх місячних,

сезонних і річних значень температури повітря, визначено рівняння лінійних трендів і величини вірогідності апроксимації.

Матеріал і методи

У процесі дослідження було застосовано математико-статистичний, графічний, системний, описовий, порівняльно-географічний та інші методи, використано багаторічні дані спостережень на метеостанції Луцьк за період 2001–2020 рр. з архівів Волинського обласного центру з гідрометеорології. Для статистичної обробки даних та їх графічної інтерпретації застосовано програмне забезпечення “Microsoft Excel 2019”.

Результати

На метеостанції Луцьк середньорічне значення загальної хмарності (середнє багаторічне за 2001–2020 рр.) становить 6,4 бала. Упродовж досліджуваного періоду відбувається зростання значень показника (рис. 1), лінійний тренд є статистично значущим (табл. 1).

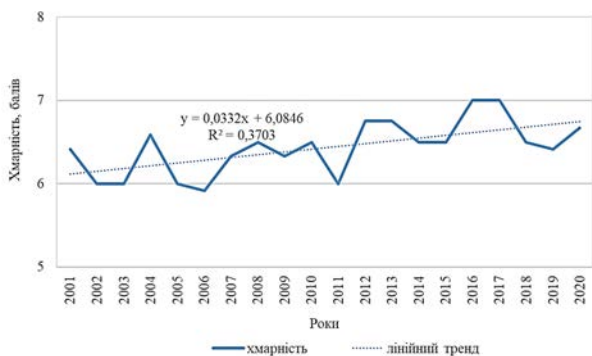


Рис. 1. Багаторічна (2001–2020 рр.) динаміка середньорічних значень загальної хмарності на метеостанції Луцьк

У холодний період року на метеостанції Луцьк хмарність вища (7,5 бала), ніж у теплий (5,6 бала), що пов'язано з вищою циклонічною активністю на Волині в листопаді – березні. І в холодний, і в теплий періоди року простежується зростання хмарності, лінійні тренди статистично значущі (рис. 2) (див. табл. 1).

Щодо сезонного розподілу хмарності, то найвища вона в Луцьку взимку – 7,9 бала, а найменша – улітку (5,5 бала) (рис. 3). Для всіх сезонів характерне зростання хмарності (рис. 4), зміни хмарності взимку і влітку статистично значущі (див. табл. 1).

Щодо розподілу хмарності за місяцями року, то найвищою вона є у грудні та січні (8,0 і 8,1 бала відповідно), а найменшою – у серпні

(5,0 бала) (рис. 5). У всі місяці року спостерігається зростання хмарності (рис. 8–9), лінійні тренди статистично незначущі (див. табл. 1).

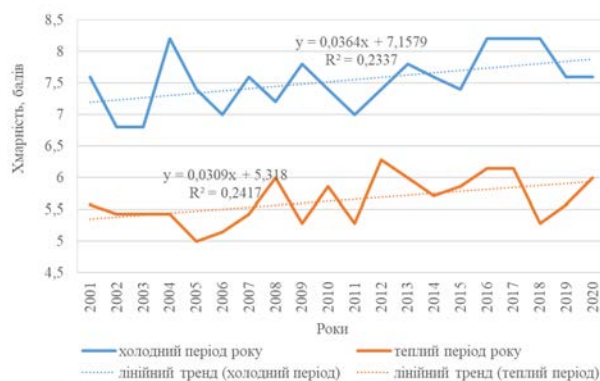


Рис. 2. Багаторічна (2001–2020 рр.) динаміка середніх значень хмарності холодного і теплого періодів року на метеостанції Луцьк

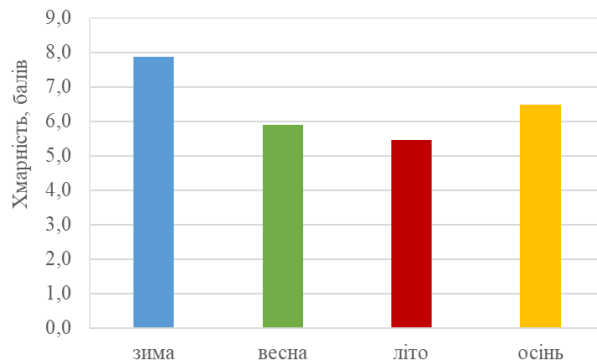


Рис. 3. Сезонний розподіл хмарності на метеостанції Луцьк (усереднені дані за період 2001–2020 рр.)

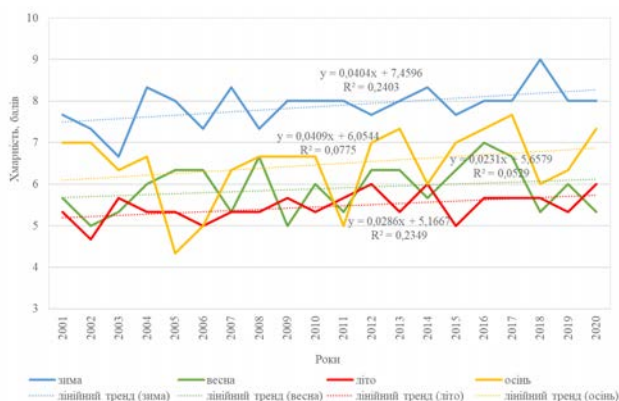


Рис. 4. Багаторічна (2001–2020 рр.) динаміка середніх сезонних значень хмарності на метеостанції Луцьк

Таблиця 1

Тенденції змін місячних, сезонних і річних значень хмарності на МС Луцьк і значущість виявлених трендів

Проміжок часу	Рівняння лінійного тренду*	R ²	R	σ _R	2σ _R	Статистична значимість тренду
Січень	$y = 0,0286x + 7,8$	0,0696	0,264	0,213	0,426	незначущий
Лютий	$y = 0,0451x + 7,1263$	0,1057	0,325	0,205	0,410	незначущий
Березень	$y = 0,0113x + 6,2316$	0,0041	0,064	0,228	0,456	незначущий
Квітень	$y = 0,0113x + 5,4316$	0,0040	0,063	0,228	0,456	незначущий
Травень	$y = 0,0466x + 5,3105$	0,1095	0,331	0,204	0,408	незначущий
Червень	$y = 0,0383x + 5,3474$	0,0832	0,288	0,210	0,420	незначущий
Липень	$y = 0,0361x + 5,3211$	0,1056	0,325	0,205	0,410	незначущий
Серпень	$y = 0,0113x + 4,8316$	0,0095	0,097	0,227	0,454	незначущий
Вересень	$y = 0,0233x + 5,3053$	0,0110	0,105	0,227	0,454	незначущий
Жовтень	$y = 0,0496x + 5,6789$	0,0561	0,237	0,217	0,434	незначущий
Листопад	$y = 0,0496x + 7,1789$	0,0900	0,300	0,209	0,418	незначущий
Грудень	$y = 0,0474x + 7,4526$	0,0880	0,283	0,209	0,418	незначущий
Зима	$y = 0,0404x + 7,4596$	0,2403	0,490	0,174	0,348	значущий
Весна	$y = 0,0231x + 5,6579$	0,0529	0,230	0,217	0,434	незначущий
Літо	$y = 0,0286x + 5,1667$	0,2349	0,485	0,176	0,351	значущий
Осінь	$y = 0,0409x + 6,0544$	0,0775	0,278	0,212	0,423	незначущий
Холодний період	$y = 0,0364x + 7,1579$	0,2337	0,483	0,176	0,352	значущий
Теплий період	$y = 0,0309x + 5,318$	0,2417	0,492	0,174	0,348	значущий
Рік	$y = 0,0332x + 6,0846$	0,3703	0,609	0,144	0,289	значущий

*Примітка: жовтим кольором показано тенденцію зростання значень показника.

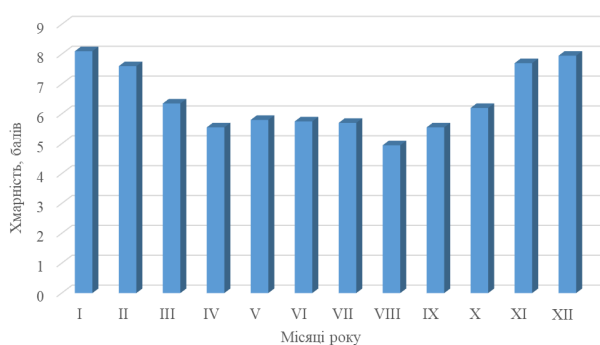


Рис. 5. Річний режим хмарності на метеостанції Луцьк (за усередненими даними впродовж 2001–2020 рр.)

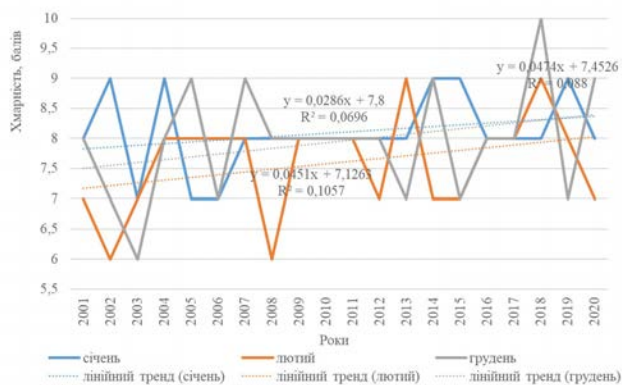


Рис. 6. Багаторічна (2001–2020 рр.) динаміка середніх значень хмарності зимових місяців на метеостанції Луцьк

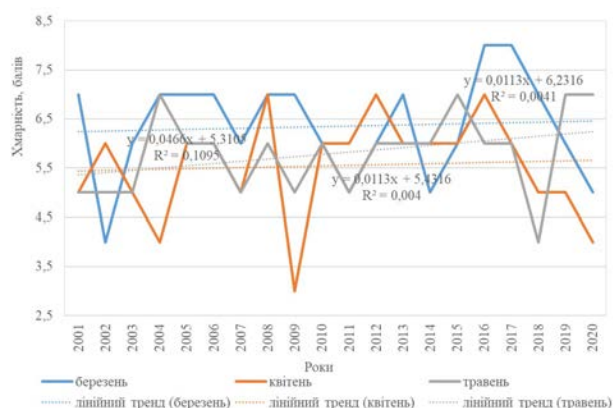


Рис. 7. Багаторічна (2001–2020 рр.) динаміка середніх значень хмарності весняних місяців на метеостанції Луцьк

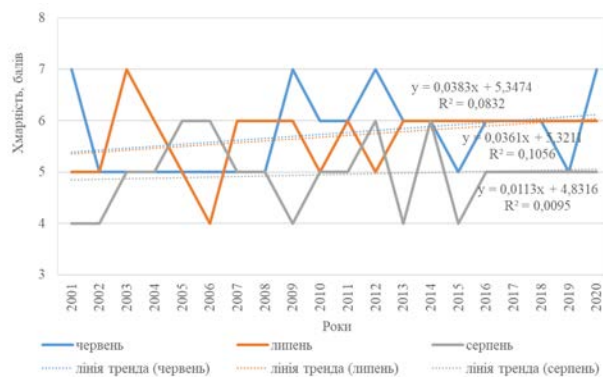


Рис. 8. Багаторічна (2001–2020 рр.) динаміка середніх значень хмарності літніх місяців на метеостанції Луцьк

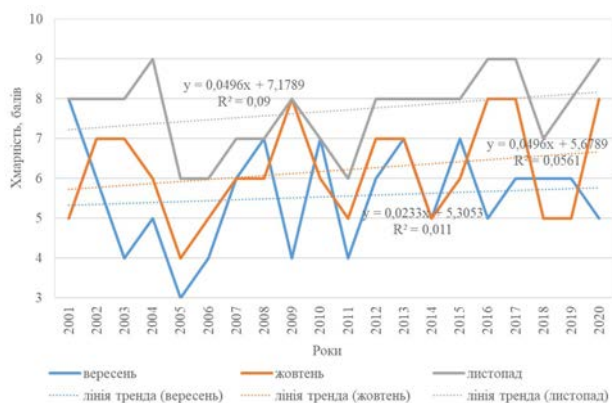


Рис. 9. Багаторічна (2001–2020 рр.) динаміка середніх значень хмарності літніх місяців на метеостанції Луцьк

Обговорення

Середня річна хмарність на метеостанції Луцьк коливається в межах 6–7 балів. Упродовж року вона найвища у грудні та січні (приблизно 8 балів), а найнижча – у серпні (5 балів). З-поміж сезонів року найвищою хмарністю характеризується зима, а найнижчою – літо. У холодний період (листопад – березень) хмарність вище (7,5 бала), ніж у теплий (квітень – жовтень) – 5,6 бала. Упродовж досліджуваного періоду простежується зростання середніх

місячних, сезонних, річних значень хмарності. Збільшення хмарності взимку, улітку, у холодний, теплий періоди року та середніх річних значень є статистично значущими.

Виявлена тенденція зростання хмарності на метеостанції Луцьк пояснюється фізичними механізмами розвитку кліматичних процесів у регіоні дослідження та в помірному кліматичному поясі загалом. Національні сценарії кліматичних змін в Україні до кінця XXI ст., розроблені на основі ансамблю моделей загальної циркуляції атмосфери й океану, передбачають підвищення температури повітря в усі сезони з найбільшими темпами зростання взимку, зміну режиму опадів зі збільшенням їхніх сум у зимово-весняний період і зменшенням улітку, що може змінити традиційний річний розподіл з літнім максимумом на більш рівномірний. Особливо вираженими такі зміни прогнозуються для західних областей України (Розроблення ..., 2013).

Зростання температури повітря в Луцьку (табл. 2) та на Волині (Павловська та ін., 2023) у поєднанні зі збільшенням річних, зокрема й зимово-весняних сум опадів (Павловська та ін., 2024а; Павловська, 2025а; Павловська, 2025b), створює сприятливі умови для інтенсифікації процесів випаровування та хмароутворення.

Таблиця 2
Тенденції змін місячних, сезонних і річних значень температури атмосферного повітря на МС Луцьк і значущість виявлених трендів

Проміжок часу	Рівняння лінійного тренду*	R ²	R	σ _R	2σ _R	Статистична значимість тренду
Січень	$y = 0,0289x - 3,2289$	0,0038	0,062	0,229	0,457	незначущий
Лютий	$y = 0,1872x - 3,8158$	0,1018	0,319	0,206	0,412	незначущий
Березень	$y = 0,1354x + 1,2132$	0,0878	0,296	0,209	0,419	незначущий
Квітень	$y = 0,0904x + 8,5011$	0,1554	0,394	0,194	0,388	значущий
Травень	$y = -0,0132x + 14,889$	0,0022	0,047	0,229	0,458	незначущий
Червень	$y = 0,1953x + 16,095$	0,5798	0,761	0,097	0,193	значущий
Липень	$y = -0,0421x + 20,642$	0,065	0,255	0,214	0,429	незначущий
Серпень	$y = 0,1058x + 18,474$	0,3448	0,587	0,150	0,301	значущий
Вересень	$y = 0,1332x + 12,967$	0,3833	0,619	0,141	0,283	значущий
Жовтень	$y = 0,0857x + 7,81$	0,09	0,300	0,209	0,418	незначущий
Листопад	$y = 0,0696x + 3,1589$	0,058	0,241	0,216	0,432	незначущий
Грудень	$y = 0,2709x - 3,7195$	0,2645	0,514	0,169	0,337	значущий
Зима	$y = 0,1604x - 3,5761$	0,2361	0,486	0,175	0,351	значущий
Весна	$y = 0,0705x + 8,2028$	0,164	0,405	0,192	0,384	значущий
Літо	$y = 0,0855x + 18,409$	0,4614	0,679	0,124	0,247	значущий
Осінь	$y = 0,0961x + 7,9791$	0,3974	0,630	0,138	0,276	значущий
Холодний період року	$y = 0,1373x - 1,2716$	0,3082	0,555	0,159	0,317	значущий
Теплий період року	$y = 0,0787x + 14,2$	0,5301	0,728	0,108	0,216	значущий
Рік	$y = 0,1035x + 7,7608$	0,6407	0,800	0,082	0,165	значущий

*Примітка: жовтим кольором показано тенденцію зростання значень показника, зеленим – зменшення.

Такий динаміці досліджуваного показника, очевидно, сприяють глобальне потепління та посилення випаровування океанічних вод і перенесення насичених вологою повітряних мас з Атлантики на територію Європи загалом і Волині зокрема. Що вищою є температура атмосферного повітря і земної поверхні, то інтенсивніше відбувається випаровування води з водойм, ґрунту та живих організмів. Зростання вмісту водяної пари в атмосфері є передумовою її подальшої конденсації, що може сприяти формуванню хмар і збільшувати ймовірність випадання опадів. Збільшенню хмарності в помірному поясі можуть сприяти не лише панівні вітри західних румбів, які є головними постачальниками вологи в досліджуваному регіоні, а й конвекція в теплий період року, особливо за наявності значних площ водного дзеркала чи перезволожених земель. Такі умови характерні для Волинської області, у структурі земельного фонду якої значні частки вод, болот і заболочених земель (Павловська, 2014; Павловська та ін., 2015).

Висновки

Дослідження змін клімату в Україні та її регіонах засвідчують тенденцію до можливого зменшення континентальності клімату у країні (Розроблення ..., 2013), особливо в її західній частині, зокрема на Волині (Павловська та ін., 2023). Тому виявлена на метеостанції Луцьк тенденція зростання хмарності підкреслює прогнозовані сце-

нарії кліматичних змін на досліджуваній території.

Варто зауважити, що процеси випаровування, конденсації, хмароутворення та випадання опадів характеризуються впливом на них вертикальної стратифікації атмосфери, вітру й інших фізичних процесів у системі Земля – атмосфера і є зсунутими один щодо одного в часі й просторі, часто характеризуються інерційністю. Як наслідок, періоди підвищеної температури повітря можуть збігатися з періодами як високих, так і низьких значень хмарності. Припускаємо, що подовження часового ряду даних може показати інші спрямування змін хмарності за місяцями та сезонами. Тому в перспективі розширення періоду даних загальної хмарності є нашим пріоритетним завданням. Окрім того, подовження часового ряду даних дозволить виявити циклічність коливання аналізованого параметра. Доцільним вбачається також порівняння різницевого інтегральних кривих модульних коефіцієнтів хмарності, температури повітря, відносної вологості повітря та кількості опадів, визначення коефіцієнта кореляції між цими метеопказниками. Науковий інтерес становлять і дані нижньої хмарності, оцінювання значущості лінійного тренду змін її значень. Саме ці завдання вважаємо доцільними для поглибленого вивчення кліматичних змін у місті Луцьку та на Волині.

Список використаної літератури

Вітамін D або кальциферол. *DeltaMed* [Електронний ресурс]. URL: <https://delta-med.com.ua/vitamin-d-abo-kalciferol/> (дата звернення 10.07.2025).

Екологічний паспорт Волинської області за 2023 р. *Волинська обласна державна адміністрація* [Електронний ресурс]. URL: <https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-volinskoji-oblasti-za-2023-rik/> (дата звернення 12.07.2025).

Заболоцька Т., Підгурська В., Шпиталь Т. Вертикальний і горизонтальний розподіл фазового стану у хмарах різних форм. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2011. Вип. 260. С. 80–94.

Затула В. Урахування режиму хмарності при оцінці природної освітленості земної поверхні. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2013. Т. 30. Вип. 3. С. 105–111.

Затула В., Кихтенко Я., Олійник Р., Сніжко С. Статистичний аналіз параметрів прозорості та хмарності атмосфери на півдні України. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна*. Серія «Геологія. Географія. Екологія». 2021. № 55. С. 159–173. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-12>.

Іванюта С., Коломієць О., Малиновська О., Якушенко Л. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації : аналітична доповідь / за ред. С. Іванюти. Київ : НІСД, 2020. 110 с.

Краковська С., Паламарчук Л., Білозерова А., Шпиталь Т. Кліматичні зміни в Україні: оцінки та прогнози на основі регіональних кліматичних моделей. Київ : ТОВ «НВП Інтерсервіс», 2017. 220 с.

Мельничук М., Мілінчук В., Павловська Т. Тривалість і часові рамки метеорологічної зими на метеостанції Луцьк. *Молода наука Волині: пріоритети та перспективи досліджень* : матеріали

XVI Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів і студентів, 17 травня 2022 р., м. Луцьк. Луцьк : ВНУ ім. Лесі Українки, 2022. С. 133–136.

Міщенко Н., Ламанова А. Режим низької хмарності над ст. Івано-Франківськ за останні п'ять років. *Science and technology: problems, prospects and innovations* : The 1st International scientific and practical conference, October 19–21, 2022. Osaka : CPN Publishing Group, 2022. P. 126.

Недострелова А. Кліматичні зміни хмарності в Україні. *Географія та туризм*. 2016. Вип. 38. С. 131–142.

Нетробчук І., Вдовичук І. Особливості мікроклімату міста Луцька. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*. 2018. № 15. С. 23–29.

Нетробчук І., Горбач В. Атлас хмар : наочний посібник. Луцьк : Вежа-Друк, 2019. 70 с.

Павловська Т. Багаторічна (1974–2023 рр.) динаміка місячних сум опадів на метеостанції Луцьк (Волинська область, Україна). *Суспільно-географічні чинники розвитку регіонів* : матеріали X Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, м. Луцьк, 15–16 травня 2025 р. / за ред. Ю. Барського, В. Лажніка. Луцьк : ФОП Мажула Ю.М., 2025а. С. 119–122.

Павловська Т. Географія Волинської області : навчальний посібник / за ред. І. Ковальчука. Луцьк : Вежа-Друк, 2019. 212 с.

Павловська Т. Геоекологічна діагностика територіальної структури землекористування у Волинській області. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету*. Серія «Географія». 2014. № 1 (36). С. 223–231.

Павловська Т. Тенденції змін кількості опадів у холодний і теплий періоди року у Волинській області. *Актуальні питання історії, громадянства, географії та методик їх викладання* : збірник матеріалів Усеукраїнської науково-практичної конференції, м. Рівне, 20 травня 2025 р. Рівне, 2025b. С. 179–183.

Павловська Т., Бакалейко В., Геналюк Р. Температурний режим на метеостанції Луцьк в умовах сучасних кліматичних змін. *Вплив кліматичних змін на просторовий розвиток територій Землі: наслідки та шляхи вирішення* : збірник наукових праць III Міжнародної науково-практичної конференції, м. Херсон, 11–12 червня 2020 р. Херсон : ДВНЗ «ХДАУ», 2020а. С. 172–176.

Павловська Т., Білецький Ю., Валянський С. Просторовий розподіл і режим випадання атмосферних опадів у Волинській області. *Географічний часопис Волинського національного університету імені Лесі Українки*. 2024а. Вип. 3. С. 13–23. <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2024.3.02>.

Павловська Т., Климчук І., Білецький Ю., Геналюк Р. Вітровий режим на метеостанції Луцьк (2001–2018 рр.). *Вплив кліматичних змін на просторовий розвиток територій Землі: наслідки та шляхи вирішення* : збірник наукових праць III Міжнародної науково-практичної конференції, м. Херсон, 11–12 червня 2020 р. Херсон : ДВНЗ «ХДАУ», 2020b. С. 189–192.

Павловська Т., Ковальчук І., Рудик О. Болотні екосистеми у структурі природно-заповідної мережі Волинської області. *Фізична географія та геоморфологія*. Київ, 2015. Вип. 3 (79). С. 67–77.

Павловська Т., Кондратчук О., Михалюк А., Ройко С. Режим випадання опадів на метеостанції Луцьк упродовж 2001–2022 рр. *Ricerche scientifiche e metodi della loro realizzazione: esperienza mondiale e realtà domestiche* : Raccolta di articoli scientifici “ΛΟΓΟΣ” con gli atti della VI Conferenza scientifica e pratica internazionale, Bologna, 15 novembre 2024. Bologna ; Vinnitsia : Associazione Italiana di Storia Urbana & UKRLOGOS Group LLC, 2024b. P. 385–390. <https://doi.org/10.36074/logos-15.11.2024.085>.

Павловська Т., Стельмах В. 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. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-499-3-4>.

Павловська Т., Стельмах В., Рудик О., 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. С. 35–43. <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2025.5.03>.

Павловська Т., Федонюк М., Рудик О. Температурний режим повітря у Волинській області: хронологічний та хорологічний аспекти. *Географічний часопис Волинського національного університету імені Лесі Українки*. 2023. Вип. 1. С. 39–48. <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2023.1.04>.

Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища за 2023 р. *Волинська обласна державна адміністрація* [Електронний ресурс]. URL: <https://voladm.gov.ua> (дата звернення 15.07.2025).

Розроблення сценаріїв зміни кліматичних умов в Україні на середньо- та довгострокову перспективу з використанням даних глобальних та регіональних моделей : звіт про науково-дослідну роботу / УкрНДГМІ. Київ, 2013. 135 с.

Стельмах В., Нетробчук І. Особливості формування «острова тепла» над містом Нововолинськ та шляхи оптимізації мікрокліматичних змін. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. Серія «Географія». 2023. Т. 54. № 1. С. 23–32. <https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.1.3>.

Тарасюк Н., Тарасюк Ф. Сучасний клімат Волині : монографія. Луцьк : Вежа-Друк, 2016. 200 с.

УФ-індекс: що це таке, як захиститися від сонця і чи можна засмагати безпечно. *BBC News Україна* [Електронний ресурс]. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/articles/ckmgkp5ez75o> (дата звернення 12.07.2025).

Федонюк В., Гусар О., Федонюк М. Динаміка хмарності в межах Волинської області в період 2010–2021 рр. *Український журнал природничих наук*. 2023. Вип. 4. С. 85–95.

Федонюк В., Прохоренко А., Федонюк М. Особливості формування та просторового розподілу «острова тепла» над містом Луцьк. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*. 2018. № 15. С. 11–17.

Чернова К. Характеристика основних форм хмарності та їх повторюваності на досліджуваній території. *Інноваційний розвиток науки нового тисячоліття* : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції. Ужгород, 2017. Ч. 1. С. 165–179.

Bellocchi G. Downward Mediterranean Cloudiness Beyond Little Ice Age Background Variability. *Ocean-Land-Atmosphere Research*. 2024. Vol. 2024. P. 0053.

Breil M., Schneider V.K.M., Pinto J.G. The effect of forest cover changes on the regional climate conditions in Europe during the period 1986–2015. *Biogeosciences*. 2024. Vol. 21. P. 811–836.

Copernicus Climate Change Service (C3S). European State of the Climate reports. 2020–2024 [Електронний ресурс]. URL: <https://climate.copernicus.eu/> (дата звернення 14.07.2025).

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 (1). P. 27–34.

Fedoniuk V.V., Husar O.N., Fedoniuk M.A. Study of the cloudiness dynamics in Lutsk in the context of climate change. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment* : Conference Proceedings, International Scientific Conference, 15–18 Nov 2022. European Association of Geoscientists & Engineers, 2022. P. 1–5.

Heintzenberg J., Lupp J. Про що розкажуть хмари? / перекл. О. Дущенко, О. Васніцька. *КЛІМАТИНФО* : інформаційний центр зі зміни клімату [Електронний ресурс]. URL: <http://www.climateinfo.org.ua/content/pro-sho-rozkazhut-khmari> (дата звернення 16.07.2025).

Husar O., Fedoniuk V. Dynamics of cloud cover in Lutsk in the 21st century and its impact on solar energy potential. *Renewable Energy and Energy Efficiency* : Proceedings of the XXIII International Conference. Kyiv, 2022. P. 305–307.

Matuszko D., Bartoszek K., Soroka J. Long-term variability of cloud cover in Poland (1971–2020). *Atmospheric Research*. 2022. № 268. P. 106028.

Post P., Aun M. Changes in cloudiness contribute to changing seasonality in the Baltic Sea region. *Ocean Science*. 2023. Vol. 19. P. 589–605.

Sfică L., Beck C., Nita A.I., Voiculescu M., Birsan M.V., Philipp A. Cloud cover changes driven by atmospheric circulation in Europe during the last decades. *International Journal of Climatology*. 2021. Vol. 41. P. 1665–1684.

Szyga-Pluta K. Cloudiness and cloud genera variability at the turn of the 21st century in Poznań (Poland). *IDŐJÁRÁS. Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*. 2022. Vol. 126 (1). P. 109–125.

Teuling A.J., Taylor C.M., Meirink J.F., Melsen L.A., Miralles D.G., Van Heerwaarden C.C., de Arellano J.V.G. Observational evidence for cloud cover enhancement over western European forests. *Nature communications*. 2017. Vol. 8 (1). P. 14065.

Theeuwes N., Barlow J.F., Teuling A.J., Grimmond C.S.B., Kotthaus S. Persistent cloud cover over mega-cities linked to surface heat release. *Climate and Atmospheric Science*. 2019. Vol. 2. P. 1–6.

Wu S., Chen B., An J. et al. The interplay of cloud cover and 3D urban structures reduces human access to sunlight. *Nature Cities*. 2024. Vol. 1. P. 686–694.

References

- Vitamin D abo kaltsyferol [Vitamin D or calciferol]. DeltaMed. [Electronic resource] URL: <https://delta-med.com.ua/vitamin-d-abo-kalciferol/> (access date 10.07.2025) [in Ukrainian].
- Ekolohichniy pasport Volynskoi oblasti za 2023 r. Volynska oblasna derzhavna administratsiia [Ecological passport of Volyn region for 2023. Volyn Regional State Administration]. [Electronic resource] URL: <https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-volynskoyi-oblasti-za-2023-rik/> (access date 16.07.2025) [in Ukrainian].
- Zabolotska, T.M., Pidhurska, V.M., & Shpytal, T.M. (2011). Vertykalnyi i horyzontalni rozpodil fazovoho stanu v khmararh riznykh form [Vertical and horizontal distribution of phase state in clouds of different forms]. *Naukovi pratsi Ukrainського naukovo-doslidnogo hidrometeorolohichnogo instytutu* [Scientific works of Ukrainian Research Hydrometeorological Institute], 260, 80–94 [in Ukrainian].
- Zatula, V.I. (2013). Urakhuvannia rezhymu khmarnosti pry otsyntsi pryrodnoi osvitenosti zemnoi poverkhni [Consideration of cloudiness regime in assessing natural illumination of earth's surface]. *Hidrolohiia, hidrokimiia i hidroekolohiia* [Hydrology, hydrochemistry and hydroecology], 30 (3), 105–111 [in Ukrainian].
- Zatula, V., Kykhtenka, Ya., Oliinyk, R., & Snizhko, S. (2021). Statystychnyi analiz parametriv prozorosti ta khmarnosti atmosfery na pivdni Ukrainy [Statistical analysis of atmospheric transparency and cloudiness parameters in southern Ukraine]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnogo universytetu imeni V.N. Karazina. Seriya "Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia"* [Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series "Geology. Geography. Ecology"], 55, 159–173. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-12> [in Ukrainian].
- Ivaniuta, S.P., Kolomiets, O.O., Malynovska, O.A., & Yakushenko, L.M. (2020). Zmina klimatu: naslidky ta zakhody adaptatsii: analit. dopovid [Climate change: consequences and adaptation measures: analytical report], S.P. Ivaniuta (Ed.). Kyiv: NISD [in Ukrainian].
- Krakovska, S., Palamarchuk, L., Bilozerova, A., & Shpytal, T. (2017). Klimatychni zminy v Ukraini: otsinky ta prohnozy na osnovi rehionalnykh klimatychnykh modelei [Climate changes in Ukraine: assessments and forecasts based on regional climate models]. Kyiv: TOV "NVP Interservis" [in Ukrainian].
- Melnychuk, M.A., Milinchuk, V.V., & Pavlovska, T.S. (2022). Tryvalist y chasovi ramky meteorolohichnoi zymy na meteostantsii Lutsk [Duration and temporal boundaries of meteorological winter at Lutsk weather station]. *Materialy XVI Mizhnar. nauk.-prakt. konf. aspirantiv i studentiv Moloda nauka Volyni: priorytety ta perspektyvy doslidzhen* [Materials of XVI International scientific-practical conference of graduate students and students Young science of Volyn: priorities and prospects of research]. Lutsk: VNU im. Lesi Ukrainky, 133–136 [in Ukrainian].
- Mishchenko, N.M., & Lamanova, A.Ye. (2022). Rezhym nyzkoi khmarnosti nad st. Ivano-Frankivsk za ostanni p'iat rokiv [Low cloudiness regime over Ivano-Frankivsk station during the last five years]. The 1st International scientific and practical conference "Science and technology: problems, prospects and innovations" Osaka: CPN Publishing Group, 126 [in Ukrainian].
- Nedostriielova, L.V. (2016). Klimatychni zminy khmarnosti v Ukraini [Climate changes of cloudiness in Ukraine]. *Heohrafiia ta turizm* [Geography and tourism], 38, 131–142 [in Ukrainian].
- Netrobchuk, I.M., & Vdovychuk, I.I. (2018). Osoblyvosti mikroklimatu mista Lutsk [Features of Lutsk city microclimate]. *Pryroda Zakhidnogo Polissia ta prylehlykh terytorii* [Nature of Western Polissya and adjacent territories], 15, 23–29 [in Ukrainian].
- Netrobchuk, I.M., & Horbach, V.V. (2019). Atlas khmar: naochnyi posibnyk [Cloud atlas: visual guide]. Lutsk: Vezha-Druk [in Ukrainian].
- Pavlovska, T.S. (2025). Bahatorichna (1974–2023 rr.) dynamika misiachnykh sum opadiv na meteostantsii Lutsk (Volynska oblast, Ukraina) [Long-term (1974–2023) dynamics of monthly precipitation sums at Lutsk weather station (Volyn region, Ukraine)]. *Materialy X Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii Suspilno-heohrafichni chynnyky rozvytku rehioniv* [Materials of X International scientific-practical internet conference Social-geographical factors of regional development], Yu.M. Barskyi, V.Y. Lazhnik (Eds.). Lutsk: FOP Mazhula Yu.M., 119–122 [in Ukrainian].
- Pavlovska, T.S. (2019). Heohrafiia Volynskoi oblasti: navchalnyi posibnyk [Geography of Volyn region: textbook], I.P. Kovalchuk (Ed.). Lutsk: Vezha-Druk [in Ukrainian].
- Pavlovska, T.S. (2014). Heoekolohichna diahnozyka terytorialnoi struktury zemlekorystuvannia u Volynskii oblasti [Geoecological diagnostics of territorial structure of land use in Volyn region]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnogo pedahohichnogo universytetu. Seriya: Heohrafiia* [Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University. Series: Geography], 1 (36), 223–231 [in Ukrainian].
- Pavlovska, T.S. (2025b). Tendentsii zmin kilkosti opadiv u kholodnyi i teplyi periody roku u Volynskii oblasti [Trends in precipitation changes during cold and warm periods of the year in Volyn

region]. Zbirnyk materialiv Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii “Aktualni pytannia istorii, hromadianoznavstva, heohrafii ta metodyk yikh vykladannia”: [Collection of materials of All-Ukrainian scientific-practical conference “Current issues of history, civics, geography and methods of their teaching”]. Rivne, 179–183 [in Ukrainian].

Pavlovska, T.S., Bakaleyko, V.A., & Henaliuk, R.M. (2020a). Temperaturnyi rezhym na meteostantsii Lutsk v umovakh suchasnykh klimatychnykh zmin [Temperature regime at Lutsk weather station under modern climate change conditions]. Zb. nauk. prats III Mizhnar. nauk.-prakt. konf.: Vplyv klimatychnykh zmin na prostorovi rozvytok terytorii Zemli: naslidky ta shliakhy vyrishennia [Collection of scientific works of III International scientific-practical conference: Impact of climate change on spatial development of Earth territories: consequences and solutions]. Kherson: DVNZ “KhDAU”, 172–176 [in Ukrainian].

Pavlovska, T.S., Biletskyi, Yu.V., & Valianskyi, S.V. (2024a). Prostorovi rozpodil i rezhym vypadannia atmosferynykh opadiv u Volynskii oblasti [Spatial distribution and regime of atmospheric precipitation in Volyn region]. Heohrafichni chasopys Volynskoho natsionalnogo universytetu imeni Lesi Ukrainky [Geographical journal of Lesya Ukrainka Volyn National University], 3, 13–23. <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2024.3.02> [in Ukrainian].

Pavlovska, T.S., Klymiuk, I.V., Biletskyi, Yu.V., & Henaliuk, R.M. (2020b). Vitrovyi rezhym na meteostantsii Lutsk (2001–2018 rr.) [Wind regime at Lutsk weather station (2001–2018)]. Zb. nauk. prats III Mizhnar. nauk.-prakt. konf.: Vplyv klimatychnykh zmin na prostorovi rozvytok terytorii Zemli: naslidky ta shliakhy vyrishennia [Collection of scientific works of III International scientific-practical conference: Impact of climate change on spatial development of Earth territories: consequences and solutions]. Kherson: DVNZ “KhDAU”, 189–192 [in Ukrainian].

Pavlovska, T.S., Kovalchuk, I.P., & Rudyk, O.V. (2015). Bolotni ekosystemy u strukturii pryrodnozapovidnoi merezhi Volynskoi oblasti [Wetland ecosystems in the structure of nature reserve network of Volyn region]. Fizychna heohrafiia ta heomorfolohiia [Physical geography and geomorphology], 3 (79), 67–77 [in Ukrainian].

Pavlovska, T.S., Kondratchuk, O.V., Mykhaliuk, A.M., & Royko, S.R. (2024b). Rezhym vypadannia opadiv na meteostantsii Lutsk uprodovzh 2001–2022 rr. [Precipitation regime at Lutsk weather station during 2001–2022]. Ricerche scientifiche e metodi della loro realizzazione: esperienza mondiale e realtà domestiche: Raccolta di articoli scientifici “ΛΟΓΟΣ”. Bologna; Vinnytsia: Associazione Italiana di Storia Urbana & UKRLOGOS Group LLC, 385–390. <https://doi.org/10.36074/logos-15.11.2024.085> [in Ukrainian].

Pavlovska, T.S., & Stelmakh, V.Yu. (2024). Prostorovo-chasova dynamika zmin vidnosnoi volohosti povitria u Volynskii oblasti [Spatio-temporal dynamics of relative humidity changes in Volyn region]. Science, technology and innovation in the context of global transformation: Scientific monograph. Riga: Baltija Publishing, 65–95. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-499-3-4> [in Ukrainian].

Pavlovska, T., Stelmakh, V., Rudyk, O., & Nikon, O. (2025). Prostorovo-chasova dynamika zmin sezonnykh znachen vidnosnoi volohosti povitria u Volynskii oblasti [Spatio-temporal dynamics of seasonal relative humidity changes in Volyn region]. Heohrafichni chasopys Volynskoho natsionalnogo universytetu imeni Lesi Ukrainky [Geographical journal of Lesya Ukrainka Volyn National University], 5 (5), 35–43. <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2025.5.03> [in Ukrainian].

Pavlovska, T.S., Fedoniuk, M.A., & Rudyk, O.V. (2023). Temperaturnyi rezhym povitria u Volynskii oblasti: khronolohichni ta khorolohichni aspekty [Air temperature regime in Volyn region: chronological and chorological aspects]. Heohrafichni chasopys Volynskoho natsionalnogo universytetu imeni Lesi Ukrainky [Geographical journal of Lesya Ukrainka Volyn National University], 1, 39–48. <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2023.1.04> [in Ukrainian].

Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha za 2023 rik. Volynska oblasna derzhavna administratsiia [Regional report on the state of the environment for 2023. Volyn Regional State Administration]. [Electronic resource] URL: <https://voladm.gov.ua> (access date 15.07.2025) [in Ukrainian].

Rozroblennia stsenariiv zminy klimatychnykh umov v Ukraini na seredno- ta dovhostrokovu perspektyvu z vykorystanniam danykh hlobalnykh ta rehionalnykh modelei: zvit pro naukovo-doslidnu robotu [Development of scenarios for climate change in Ukraine for medium and long-term perspective using global and regional model data: research report] (2013). Kyiv: UkrNDHMI [in Ukrainian].

Stelmakh, V.Yu., & Netrobchuk, I.M. (2023). Osoblyvosti formuvannia “ostrova tepla” nad mistom Novovolynsk ta shliakhy optymizatsii mikroklimatychnykh zmin [Features of “heat island” formation over Novovolynsk city and ways to optimize microclimatic changes]. Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnogo pedahohichnogo universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seria: heohrafiia [Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatiuk. Series: Geography], 54 (1), 23–32. <https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.1.3> [in Ukrainian].

Tarasiuk, N.A., & Tarasiuk, F.P. (2016). Suchasnyi klimat Volyni: monohrafiia [Modern climate of Volyn: monograph]. Lutsk: Vezha-Druk [in Ukrainian].

UF-indeks: shcho tse take, yak zakhystytysia vid sontsia i chy mozhna zasmahaty bezpechno [UV index: what it is, how to protect from the sun and whether it's safe to sunbathe]. BBC News Ukraina. [Electronic resource] URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/articles/ckmgkp5ez75o> (access date 12.07.2025) [in Ukrainian].

Fedoniuk, V.V., Husar, O.N., & Fedoniuk, M.A. (2023). Dynamika khmarnosti v mezhakh Volynskoi oblasti v period 2010–2021 rr. [Cloudiness dynamics within Volyn region during 2010–2021]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychkh nauk [Ukrainian journal of natural sciences]*, 4, 85–95 [in Ukrainian].

Fedoniuk, V.V., Prokhorenko, A.A., & Fedoniuk, M.A. (2018). Osoblyvosti formuvannia ta prostorovoho rozpodilu “ostrova tepla” nad mistom Lutsk [Features of formation and spatial distribution of “heat island” over Lutsk city]. *Pryroda Zakhidnoho Polissia ta prylehlykh terytorii [Nature of Western Polissya and adjacent territories]*, 15, 11–17 [in Ukrainian].

Chernova, K.V. (2017). Kharakterystyka osnovnykh form khmarnosti ta yikh povtoriuvanosti na doslidzhuvaniy terytorii [Characteristics of main cloud forms and their recurrence in the study area]. *Zb. materialiv mizhnarod. nauk.-prakt. konferentsii: Innovatsiinyi rozvytok nauky novoho tysiacholittia [Collection of materials of international scientific-practical conference: Innovative development of science of the new millennium]*. Uzhhorod, 1, 165–179 [in Ukrainian].

Bellocchi, G. (2024). Downward Mediterranean Cloudiness Beyond Little Ice Age Background Variability. *Ocean-Land-Atmosphere Research*, 0053.

Breil, M., Schneider, V.K.M., & Pinto, J.G. (2024). The effect of forest cover changes on the regional climate conditions in Europe during the period 1986–2015. *Biogeosciences*, 21, 811–836.

Copernicus Climate Change Service (C3S) (2020–2024). European State of the Climate reports. <https://climate.copernicus.eu/>.

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.

Fedoniuk, V.V., Husar, O.N., & Fedoniuk, M.A. (2022). Study of the cloudiness dynamics in Lutsk in the context of climate change. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment: Conference Proceedings, International Scientific Conference. European Association of Geoscientists & Engineers*, 1–5.

Heintzenberg, J., & Lupp, J. (2011, June 22). Pro shcho rozkazhut khmary? [What will clouds tell us?] (O. Dushchenko & O. Vasnitska, Trans.). *KLIMATINFO: informatsiinyi tsentr zi zminy klimatu [CLIMATEINFO: information center on climate change]*. [Electronic resource] URL: <http://www.climateinfo.org.ua/content/pro-sho-rozkazhut-khmari> (access date 16.07.2025) [in Ukrainian].

Husar, O., & Fedoniuk, V. (2022). Dynamics of cloud cover in Lutsk in the 21st century and its impact on solar energy potential. *Renewable Energy and Energy Efficiency: Proceedings of the XXIII International Conference*. Kyiv, 305–307.

Matuszko, D., Bartoszek, K., & Soroka, J. (2022). Long-term variability of cloud cover in Poland (1971–2020). *Atmospheric Research*, 268, 106028.

Post, P., & Aun, M. (2023). Changes in cloudiness contribute to changing seasonality in the Baltic Sea region. *Ocean Science*, 19, 589–605.

Sfică, L., Beck, C., Nita, A.I., Voiculescu, M., Birsan, M.V., & Philipp, A. (2021). Cloud cover changes driven by atmospheric circulation in Europe during the last decades. *International Journal of Climatology*, 41, 1665–1684.

Szyga-Pluta, K. (2022). Cloudiness and cloud genera variability at the turn of the 21st century in Poznań (Poland). *IDŐJÁRÁS / Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 126 (1), 109–125.

Teuling, A.J., Taylor, C.M., Meirink, J.F., Melsen, L.A., Miralles, D.G., Van Heerwaarden, C.C., & de Arellano, J.V.G. (2017). Observational evidence for cloud cover enhancement over western European forests. *Nature Communications*, 8 (1), 14065.

Theeuwes, N., Barlow, J.F., Teuling, A.J., Grimmond, C.S.B., & Kotthaus, S. (2019). Persistent cloud cover over mega-cities linked to surface heat release. *Climate and Atmospheric Science*, 2, 1–6.

Wu, S., Chen, B., An, J., et al. (2024). The interplay of cloud cover and 3D urban structures reduces human access to sunlight. *Nature Cities*, 1, 686–694.

Отримано: 22.07.2025

Прийнято: 25.08.2025

Опубліковано: 17.10.2025





ХІМІЯ

УДК 544.723:544.77
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.19>

ПРОЦЕСИ АДСОРБЦІЇ КОНГО ЧЕРВОНОГО З ВОДНИХ РОЗЧИНІВ ПОВЕРХНЕЮ КУПРУМ-ІТРІЄВОГО ГРАНАТУ

О. М. Камінський¹, Р. О. Денисюк², С. В. Кучерук³, С. В. Авдєєв⁴, О. С. Євдоченко⁵

У роботі здійснено синтез купрум-ітрієвого гранату зі структурою шпінелі золь-гель методом Печіні та досліджено його морфологію набором фізико-хімічних методів. Для визначення структури одержаного купрум-ітрієвого гранату і кількісного співвідношення між компонентами проведено рентгенофлуоресцентний спектральний аналіз, за даними якого встановлено, що купрум-ітрієвий гранат має склад: 9,4% Купруму, 67,5% Ітрію та 23,1% Оксигену, що відповідає найпростішій формулі $\text{CuY}_5\text{O}_{10}$. Методами ІЧ-Фур'є спектроскопії показано, що за 1600–1400 cm^{-1} відбуваються валентні коливання $\text{Cu} - \text{OH}$ зв'язків поверхні купрум-ітрієвого гранату зі структурою шпінелі. За 800–700 cm^{-1} виявлено валентні коливання $\text{Y} - \text{O}$ зв'язків додекаедрів координованого Ітрію (елементарної комірки ітрієвого гранату), що характерно для гранатів зі структурою шпінелі. У процесі дослідження адсорбційної активності поверхні купрум-ітрієвого гранату щодо барвника конго червоного з розчинів виявлено, що максимальний ступінь вилучення 54,6% досяга-

¹ кандидат хімічних наук, доцент,
доцент кафедри хімії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: alexkamin@ukr.net
ORCID: 0000-0003-1971-8437

² кандидат хімічних наук, доцент,
доцент кафедри хімії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: denisuknet@ukr.net
ORCID: 0000-0003-3077-3795

³ доктор філософії з галузі знань Хімічна та біоінженерія,
доцент кафедри хімії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: snezhunka1107@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5978-487X

⁴ старший викладач кафедри хімії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: Avdieiev-S@zu.edu.ua
ORCID: 0009-0001-0340-3150

⁵ доктор філософії з галузі знань 01 Освіта/Педагогіка,
доцент кафедри хімії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: evdochenko_lena@ukr.net
ORCID: 0000-0001-6338-5372

ється для маси адсорбента 0,08 г. Показано, що ступінь вилучення барвника 43,5% досягається за перші 30 хвилин від початку адсорбції, а максимального значення досягає після 120 хвилин від початку взаємодії на межі поділу адсорбат-адсорбент. Характер кривої вказує на нерівноважні адсорбційні процеси, в яких процеси адсорбції на межі поділу фаз переважають над процесами десорбції барвника з поверхні. Установлено, що адсорбційна ємність становить 1,59 мг/г, а коефіцієнт розподілу за максимальної концентрації барвника ($C_0 = 10$ мг/л) – 432,06 мл/г. Це означає, що спорідненість цього барвника до поверхні купрум-ітрієвого гранату є незначною. Характер кривої ізотерми нагадує прямолінійні криві ізотерм Генрі відповідно до класифікації Гільса. Такий тип ізотерм вказує на те, що міжмолекулярна взаємодія адсорбат-адсорбент переважає над міжмолекулярною взаємодією в розчині між молекулами конго червоного. Ізотерма адсорбції конго червоного задовільно описується моделлю Тьомкіна, в порівнянні з іншими моделями, про що свідчить коефіцієнт кореляції ($R^2 = 0,854$), тобто адсорбція барвника відбувається на потенційно неоднорідних поверхнях, на яких здійснюється рівномірний розподіл адсорбційних центрів за енергією. Розрахована величина енергії адсорбції становить 2,162 кДж/моль, що вказує на чисто фізичну адсорбцію молекул барвника на поверхні гранату.

Ключові слова: купрум-ітрієвий гранат, ізотерми адсорбції, енергія адсорбції, моделі ізотерм, конго червоний, хімія поверхні, фізична та колоїдна хімія.

PROCESSES OF ADSORPTION OF CONGO RED FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY THE SURFACE OF COPPER-YTTRIUM GARNET

O. M. Kaminskiy, R. O. Denysiuk, S. V. Kucheruk, S. V. Avdieiev, O. S. Yevdochenko

In this work, the synthesis of copper-yttrium garnet with a spinel structure was carried out by the Pechini method and its morphology was studied using a set of physicochemical methods. X-ray fluorescence spectral analysis was performed to determine the structure of the obtained copper-yttrium garnet and the quantitative ratio between the components. According to the X-ray fluorescence spectral analysis, it was found that the copper-yttrium garnet has a composition of: 9.4% Copper, 67.5% Yttrium and 23.1% Oxygen, which corresponds to the simplest formula CuY_5O_{10} . IR-Fourier spectroscopy methods showed that at 1600-1400 cm^{-1} , stretching vibrations of Cu – OH bonds of the surface of copper-yttrium garnet with a spinel structure occur. At 800-700 cm^{-1} , stretching vibrations of Y – O bonds of coordinated Yttrium dodecahedra (unit cell of yttrium garnet) were detected, which is typical for garnets with a spinel structure. In the process of studying the adsorption activity of the surface of copper-yttrium garnet with respect to the Congo red dye from solutions, it was found that the maximum degree of extraction of 54.6% is achieved for an adsorbent mass of 0.08 g. It was shown that the degree of extraction of the dye of 43.5% is achieved in the first 30 minutes from the beginning of adsorption, and reaches its maximum value after 120 minutes from the beginning of interaction at the adsorbate-adsorbent interface. The nature of the curve indicates non-equilibrium adsorption processes, in which the adsorption processes at the phase interface prevail over the processes of desorption of the dye from the surface. It was established that the adsorption capacity is 1.59 mg/g, and the distribution coefficient at the maximum concentration of the dye ($C_0 = 10$ mg/l) is 432.06 ml/g. This means that the affinity of this dye to the surface of copper-yttrium garnet is insignificant. The character of the isotherm curve resembles the rectilinear Henry isotherm curves according to the Giles classification. This type of isotherm indicates that the intermolecular interaction of the adsorbate-adsorbent prevails over the intermolecular interaction in the solution between the Congo red molecules. The adsorption isotherm of Congo red is satisfactorily described by the Tiomkin model, in comparison with other models, as evidenced by the correlation coefficient ($R^2 = 0.854$), i.e. the adsorption of the dye occurs on potentially inhomogeneous surfaces, on which there is a uniform distribution of adsorption centers in terms of energy. The calculated value of the adsorption energy is 2.162 kJ/mol, which indicates a purely physical adsorption of the dye molecules on the garnet surface.

Key words: copper-yttrium garnet, adsorption isotherms, adsorption energy, isotherm models, Congo red, surface chemistry, physical and colloidal chemistry.

Вступ

У сучасних умовах розвитку науки та індустріалізації забруднення довкілля, зокрема водних ресурсів, стало однією з найгостріших глобальних екологічних проблем. За останній час рівень забруднення значно

підвищився й досяг критичної межі, що становить серйозну загрозу для живих організмів. Шкідливі речовини негативно впливають на навколишнє середовище, включаючи воду, ґрунт, рослинність і тваринний світ. Відповідно до Угоди про асоціацію з ЄС та

затвердженої Директиви ЄС (Directive ..., 2020) воду визнано головним харчовим продуктом, тому пошук ефективних методів очищення води до якості питної залишається не розв'язаною глобальною проблемою сьогодення. Також слід зазначити, що однією з ключових цілей на 2030 рік є гарантування доступності та довгострокового забезпечення водопостачання та санітарії для всіх, як це вказано в шостій цілі сталого розвитку (ЦСР) (Ahmad et al., 2025).

Серед поширених забруднювачів водойм можна виділити синтетичні барвники. Надмірне застосування синтетичних барвників часто призводить до їх неконтрольованого потрапляння у водойми, зокрема через промислові стоки, що є шкідливим для навколишнього середовища. Штучні барвники широко застосовуються в таких галузях, як харчова, паперова, текстильна, шкіряна, фармацевтична та лакофарбова промисловості, й після завершення виробничих процесів можуть забруднювати водні ресурси (Boumya et al., 2024). Згідно з наявними світовими оцінками, щороку у світі виготовляють близько 700 тисяч тон барвників і пігментів, які включають приблизно 1000 різновидів (Din et al., 2021, Khan et al., 2024). Потрапляння канцерогенних барвників у водне середовище призводить до негативних змін у структурі екосистем. Вони спричиняють гіпертрофію, що знижує рівень насичення води киснем, унаслідок чого морські організми зазнають серйозної шкоди, а водна флора та фауна – значних втрат (Chenab et al., 2020). Наприклад, синтетичний барвник конго червоний (Congo Red, CR) – аніонний азобарвник, що широко використовується в текстильній, паперовій, гумовій, полімерній та друкарській промисловості, а також у гістології для фарбування амілоїдних фібрил і клітинних структур (Gao et al., 2021). Сам барвник, хоч безпосередньо може не бути високотоксичним, продукує токсичні метаболіти, мутагенні та канцерогенні сполуки, що негативно впливають на здоров'я ссавців, впливаючи на нирки, шкіру, легені, репродуктивну систему тощо (Quintanilla-Villanueva et al., 2025, Karadayi et al., 2025).

Натепер розроблено чимало методів очищення водних об'єктів від барвників. Серед найрезультативніших варто зазначити хімічне відновлення, мембранну фільтрацію, коагуляцію та флокуляцію, фотокаталітичне окиснення, іонообмінні технології та інші способи (Boushehrian et al., 2020,

Khan et al., 2025). Однак серед перспективних методів очищення забруднених водойм нині залишаються процеси адсорбції. Так, наприклад у роботі (Wang et al., 2012) досліджено, як впливає початкова концентрація барвника конго червоного (в межах 50–150 мг/л) на адсорбційні властивості різних феритів. Виявлено, що зі зростанням концентрації барвника підвищується і адсорбційна ємність матеріалів: для Fe_3O_4 – від 16,7 до 30,6 мг/г; для $NiFe_2O_4$ – від 50,2 до 71,3 мг/г; для $MnFe_2O_4$ – від 35,5 до 68,0 мг/г; для $CoFe_2O_4$ – від 82,6 до 170,0 мг/г. Було встановлено, що процес адсорбції є інтенсивним на початкових етапах, однак згодом його швидкість зменшується. Це явище пов'язане з тим, що початково на поверхні феритів наявна велика кількість активних центрів, тоді як потім заповнення залишкових поверхневих ділянок ускладнюється через електростатичне відштовхування між уже адсорбованими молекулами барвника й тими, що залишаються в розчині. У роботі (Semwal et al., 2023) синтезовано нанокмпозити $Ag-Cu-CeO_2$ зі структурою флюориту, методом співосадження з розміром кристалітів у діапазоні 6,00–6,87 нм. Синтезовані нанокмпозити використано як адсорбенти конго червоного (CR). Установлено, що вищі швидкості адсорбції досягаються за значень рН 2 для всіх трьох нанокмпозитів: $Ag-Cu-CeO_2$ (10:20:70), $Ag-Cu-CeO_2$ (15:15:70) та $Ag-Cu-CeO_2$ (20:10:70). Адсорбційна ємність барвника CR становила 53,93, 54,71 та 37,80 мг/г для кожного складу відповідно, за таких умов: маса адсорбенту 0,1 г, температура 20°C, час адсорбції 180 хв. Показано, що для опису процесів адсорбції найкраще підходить ізотерма адсорбції Фрейндліха та кінетична модель псевдодругого порядку, а негативні значення ентальпії адсорбції (-27,57, -26,43 та -16,73 кДж/моль відповідно) вказують на те, що адсорбція була спонтанною та екзотермічною. Найімовірнішим механізмом адсорбції CR є електростатичне притягання, утворення координаційних комплексів та взаємодії, що включають водневі зв'язки на межі поділу фаз.

Авторами (Duhan et al., 2025) як адсорбенти барвника конго червоного (CR), а також для сенсорних застосувань під час виявлення ціанокобаламіну використано оксиди неодиму та ітрію (NYO). Показано, що процеси адсорбції ефективно проявляються за рН 5, масі адсорбенту 0,01 г, об'ємі розчину барвника 30 мл. За цих умов досяг-

нуто вилучення барвника на рівні 90,9%. Ізотерма адсорбції ефективно описується моделлю Ленгмюра, а кінетика адсорбції належить до псевдодругого порядку. Виявлено, що механізми, які зумовлюють адсорбцію барвника, включають взаємодії Ван-дер-Ваальса, водневі зв'язки та електростатичні взаємодії. Показано, що наноматеріали можна використовувати повторно протягом шести циклів, зберігаючи ефективність адсорбції 68,5%. Однак дослідження процесів адсорбції конго червоного з водних розчинів поверхнею купрум-ітрієвого гранату мало вивчені.

Матеріал і методи

З метою вивчення процесів адсорбції конго червоного з розчинів поверхнею купрум-ітрієвого гранату проведено синтез адсорбенту золь-гель методом за участю автогоріння (метод Печіні) за методикою, описаною в роботах (Бушкова та ін., 2013, Shanmugavel et al., 2014). Зважували 2,42 г $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ марки «ч.д.а.»; 7,66 г $\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ марки «ч.д.а.» та 6,3 г $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ марки «ч.д.а.». Суміш нітратів металів та лимонної кислоти розчиняли в 50 мл дистильованої води. До одержаного розчину додавали 15 мл 25% розчину амоніаку (марки «ч.д.а.») для підтримання $\text{pH} \approx 8$ (перевіряли за допомогою універсального індикаторного паперу). Розчин перенесли в широку склянку на 250 мл і нагрівали на електричній плитці до повного випаровування розчинника з утворенням густого гелю, який після висихання самоспалахував (відбувалося автогоріння з утворенням пухкої маси нанодисперсного гра-

нату). Після закінчення реакції автогоріння одержану масу синтезованого купрум-ітрієвого гранату розтирали в ступці, промивали 5–7 разів невеликою кількістю дистильованої води до нейтральної реакції та висушували на повітрі. На рис. 1 зображено синтетичний купрум-ітрієвий гранат. Вихід кінцевого продукту становив 2,56 г.



Рис. 1. Фотографія синтезованого купрум-ітрієвого гранату

Для встановлення кількісного співвідношення між компонентами у структурі купрум-ітрієвого гранату проведено рентгенофлуоресцентний спектральний аналіз за допомогою енергодисперсійного рентгенофлуоресцентного спектрометра «ELVAX» Model SER-01». Оброблення отриманих результатів здійснювалось за допомогою програми ElvaX Software ver. 4.1.8 за методом фундаментальних параметрів (точність визначення $\pm 0,1\%$). На рис. 2 показано рентгеноспектрограму зразка купрум-ітрієвого гранату.

На основі результатів рентгенофлуоресцентного спектрального аналізу було визначено, що синтезований купрум-ітрієвий гранат містить 9,4% міді, 67,5% ітрію та

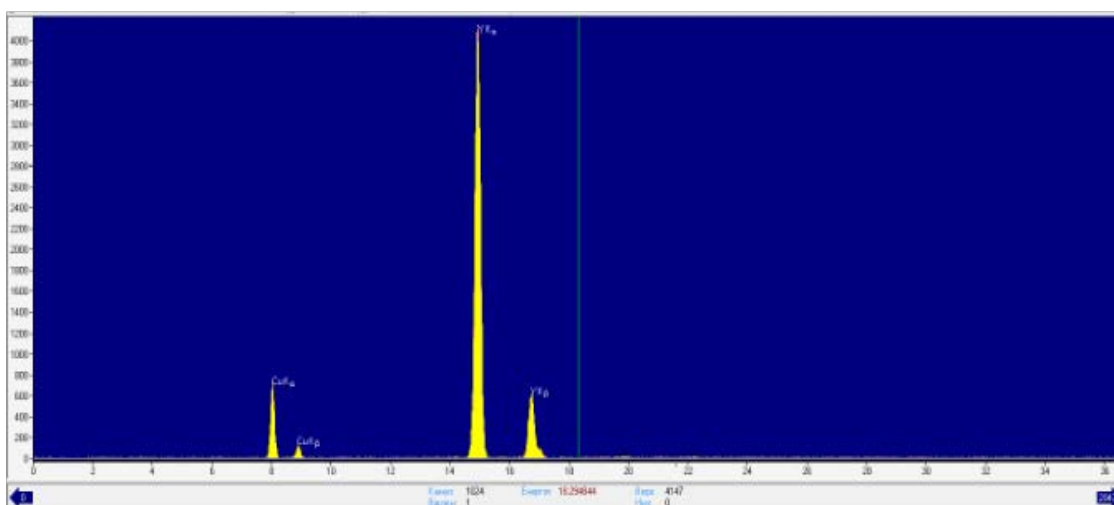


Рис. 2. Рентгеноспектрограма синтезованого купрум-ітрієвого гранату

23,1% кисню. Відповідно до отриманих даних, його найпростіша хімічна формула має вигляд $\text{CuY}_5\text{O}_{10}$.

З метою ідентифікації основних рефлексів поверхневих груп купрум-ітрієвого гранату виконано ІЧ-Фур'є спектроскопічні дослідження на спектрофотометрі з перетворенням Фур'є «AGILENT CARY 630» у спектральному діапазоні $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$. На рис. 3 показано ІЧ-Фур'є спектр купрум-ітрієвого гранату. Визначено, що дублет за $2400\text{--}2300\text{ см}^{-1}$ відповідає валентним симетричним коливанням --OH груп адсорбованих молекул H_2O (Chukanov & Chervonnyi, 2016). За $1600\text{--}1400\text{ см}^{-1}$ відбуваються валентні коливання Cu--OH зв'язків поверхні купрум-ітрієвого гранату зі структурою шпінелі. Наявність цієї інтенсивної смуги поглинання вказує на високу активність поверхневих OH груп мікрочастинок зі структурою шпінелі, що також сприяє проходженню адсорбції (Frolova & Hrydnieva, 2020).

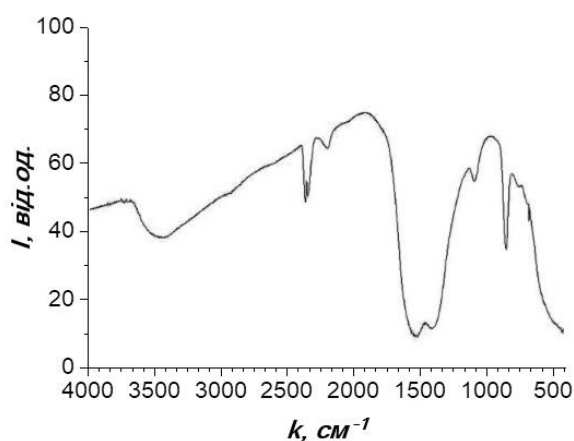


Рис. 3. ІЧ-Фур'є спектр $\text{CuY}_5\text{O}_{10}$

За $800\text{--}700\text{ см}^{-1}$ виявлено валентні коливання Y--O зв'язків додекаедрів координованого Ітрію (елементарної комірки ітрієвого гранату), що характерно для гранатів зі структурою шпінелі (Modi et al., 2004), а за $600\text{--}550\text{ см}^{-1}$ виявлено валентні коливання Cu--O зв'язків.

Для дослідження впливу маси адсорбенту на ступінь вилучення барвника проводили зважування $\text{CuY}_5\text{O}_{10}$ на електронних вагах у кількостях 0,04; 0,08; 0,10 та 0,12 г. До кожної навшеної проби додавали по 25 мл розчину барвника з початковою концентрацією 6 мг/л. Суміші піддавали помірному перемішуванню на лабораторному шейкері (ЛАБ ПУ 02) протягом 90 хвилин. Концентрацію барвника до та після адсор-

бції визначали за допомогою КФК-2 за довжини хвилі 490 нм. Для розчину порівняння використовували дистильовану воду.

Для дослідження залежності ступеня вилучення барвника від часу контакту відважували по 0,08 г зразків, додавали 25 мл розчину барвника з $C_0 = 6\text{ мг/л}$ та перемішували на шейкері. Діапазон часу контакту між розчином та адсорбентом становив: 5, 10, 30, 45, 60 та 90 хв. Температура, за якої проводилось дослідження, становила 293К. Для дослідження процесів адсорбції барвника конго червоного з водних розчинів поверхнею купрум-ітрієвого гранату готували розчини барвника з концентраціями 2–10 мг/л шляхом розведення аліквоти, відібраної з вихідного розчину (50 мг/л).

Адсорбцію барвника з водних розчинів здійснювали в статичному режимі за кімнатної температури. Для побудови кривих ізотерм адсорбції барвника з водних розчинів використано діапазон концентрацій розчинів барвника: 2, 4, 6, 8 та 10 мг/л. Маса зразків адсорбентів становили 0,08 г кожен, об'єм розчину барвника – 25 мл, час контакту між адсорбатом і адсорбентом становив 90 хв.

Ємність сорбенту A (мг/г) розраховували за формулою:

$$A = \frac{(C_0 - C_p) \cdot V}{m}, \quad (1)$$

де C_0 і C_p – концентрація вихідного розчину та розчину після адсорбції (мг/л), V – об'єм розчину (л), m – наважка адсорбенту (г).

Ступінь вилучення R , % конго червоного з водних розчинів розраховували за формулою:

$$R = \frac{(C_0 - C_p)}{C_0} \cdot 100\% \quad (2)$$

Коефіцієнт розподілу E (мл/г) розраховували за формулою:

$$E = \frac{A}{C_p} \cdot 1000 \quad (3)$$

Для оброблення одержаних ізотерм адсорбції барвника з водних розчинів використано математичні моделі сорбції Ленгмюра, Фрейндліха, Тьомкіна та Дубініна-Радушкевича, фізичний зміст яких описано в роботі (Камінський та ін., 2023).

Результати та їх обговорення

Для встановлення оптимальної маси адсорбенту побудовано експериментальну залежність ступеня вилучення барвника від маси адсорбенту (рис. 4).

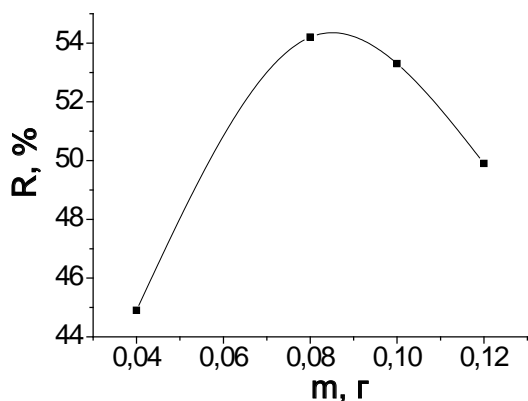


Рис. 4. Залежність ступеня вилучення конго червоного від маси адсорбенту

Як видно з рисунку, максимальний ступінь вилучення 54,6% досягається для маси адсорбента 0,08 г. Встановлено, що подальше збільшення маси адсорбенту збільшує величину адсорбції, що, ймовірно, пов'язано з особливостями міжмолекулярних взаємодій на межі поділу фаз та адсорбційно-десорбційною рівновагою цього процесу.

На рис. 5 показано залежність ступеня вилучення барвника від часу контакту між компонентами. Було з'ясовано, що впродовж перших 30 хвилин адсорбції ступінь вилучення барвника становить 43,5%, а максимального рівня (54,6%) досягає через 120 хвилин від початку контакту системи «адсорбат – адсорбент». Форма отриманої кінетичної кривої свідчить про перебіг нерівноважних адсорбційних процесів, в яких поглинання барвника на межі поділу фаз переважає над десорбцією з поверхні адсорбенту. Імовірний механізм адсорбції буде детально розглянуто авторами в наступних етапах дослідження.

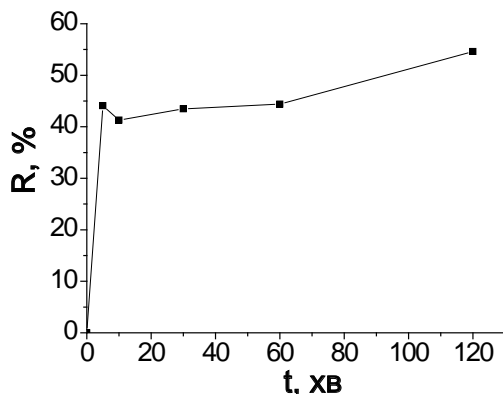


Рис. 5. Залежність ступеня вилучення барвника від часу контакту між компонентами

На рис. 6 показано ізотерму адсорбції конго червоного з розчинів поверхнею $\text{CuY}_5\text{O}_{10}$.

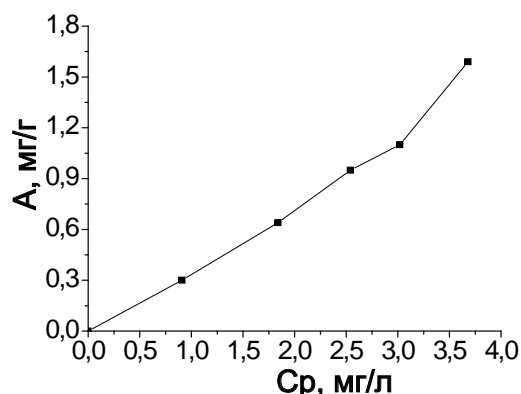


Рис. 6. Ізотерма адсорбції конго червоного з розчинів поверхнею $\text{CuY}_5\text{O}_{10}$

Згідно з отриманими даними, адсорбційна ємність (A) становить 1,59 мг/г, а коефіцієнт розподілу (E) за початкової концентрації барвника 10 мг/л дорівнює 432,06 мл/г. Це свідчить про відносно слабку афінність барвника до поверхні купрум-ітрієвого гранату. Форма ізотерми адсорбції відповідає лінійному типу, подібному до ізотерм Генрі за класифікацією Гільса. Така поведінка системи вказує на переважання взаємодії між адсорбованими молекулами і поверхнею адсорбенту над міжмолекулярними зв'язками між самими молекулами адсорбату, що відрізняє її від характерної моделі Ленгмюра.

У таблиці 1 наведено експериментальні дані адсорбції конго червоного поверхнею $\text{CuY}_5\text{O}_{10}$.

Таблиця 1
Експериментальні дані адсорбції конго червоного поверхнею $\text{CuY}_5\text{O}_{10}$

$\text{CuY}_5\text{O}_{10}$		
A, мг/г	R, %	E, мл/г
1,59	54,60	432,06

Ізотерми адсорбції проаналізовано відповідно до моделей адсорбції Ленгмюра, Фрейндліха, Тьомкіна та Дубініна-Радушкевича. Визначено, що ізотерма адсорбції конго червоного задовільно описується моделлю Тьомкіна, в порівнянні з іншими моделями, про що свідчить коефіцієнт кореляції ($R^2 = 0,854$). Це означає, що адсорбція барвника відбувається на потенційно неоднорідних поверхнях, на яких відбувається рівномірний розподіл адсорбційних центрів за енергією.

Використовуючи рівняння Дубініна-Радушкевича, розраховано величину енергії адсорбції (E), яка становить 2,162 кДж/моль, що вказує на чисто фізичну адсорбцію молекул барвника на поверхні купрум-ітрієвого гранату.

Висновки

У процесі дослідження було здійснено синтез купрум-ітрієвого гранату з кристалічною структурою шпінелі методом золь-гель з автокаталітичним горінням (так званий метод Печіні). Результати рентгенофлуоресцентного спектрального аналізу свідчать про те, що вміст основних елементів у зразку становить: 9,4% Cu, 67,5% Y та 23,1% O, що відповідає емпіричній формулі $\text{CuY}_5\text{O}_{10}$.

ІЧ-Фур'є спектроскопія виявила, що в області 1600–1400 cm^{-1} спостерігаються валентні коливання зв'язків Cu–OH, що притаманні поверхні купрум-ітрієвого гранату зі структурою шпінелі. Водночас у діапазоні 800–700 cm^{-1} зафіксовано коливання зв'язків Y–O, характерні для додекаедричної координації Ітрію, типової для шпінелевих структур.

Під час вивчення адсорбційної активності встановлено, що максимальне вилучення барвника конго червоного з розчину становить 54,6% і досягається за викори-

стання маси адсорбенту 0,08 г. Подальше збільшення кількості сорбенту не призводить до покращення ефективності процесу. Також виявлено, що вже за перші 30 хвилин ступінь вилучення досягає 43,5%, а максимальне значення спостерігається після 120 хвилин взаємодії системи «адсорбат – адсорбент».

Адсорбційна ємність матеріалу становить 1,59 мг/г, тоді як коефіцієнт розподілу за початкової концентрації барвника 10 мг/л сягає 432,06 мл/г, що вказує на відносно слабку афінність барвника до поверхні отриманого гранату. Ізотерма адсорбції має лінійний характер і відповідає типу Генрі згідно з класифікацією Гільса. Такий профіль свідчить про те, що переважну роль у процесі відіграє взаємодія молекул барвника з активними центрами поверхні, а не міжмолекулярні зв'язки між самими молекулами адсорбату, як це характерно для ізотерми Ленгмюра.

Крім того, ізотерму адсорбції конго червоного успішно описано моделлю Тьомкіна, що вказує на присутність енергетично неоднорідних адсорбційних центрів із рівномірним розподілом їх енергій. Розрахована енергія адсорбції підтверджує, що поглинання барвника відбувається шляхом фізичної, а не хімічної взаємодії з поверхнею $\text{CuY}_5\text{O}_{10}$.

Список використаної літератури

- Бушкова В.С., Остафійчук Б.К., Копаєв О.В. Особливості синтезу складних оксидних систем з використанням ЗГА-методу. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2013. Т. 15. № 1. С. 182–185.
- Камінський О.М., Денисюк Р.О., Чайка М.В., Писаренко С.В., Панасюк Д.Ю. Сорбція йонних форм Цинку (II) з водних розчинів поверхнями магніточутливих наноконкомпозитів, модифікованих гідроксиапатитом. *Український журнал природничих наук*. 2023. № 5. С. 70–79. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.5.2023.8>.
- Ahmad N., Kameda T., Rahman M. T., Rahman F., Lesbani A. Preparation of a new hybrid MgALDH@Magnetite activated charcoal by hydrothermal method for stability and adsorption mechanism of congo red. *Results in Surfaces and Interfaces*. 2025. Vol. 18. 100440. <https://doi.org/10.1016/j.rsurfi.2025.100440>.
- Boumya W., Khnifira M., Farid Z., et al. Comparative study of cationic Nile blue and anionic methyl orange dyes adsorption in water on the (110) surface of metal chlorides by DFT and MD approaches. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 2024. Vol. 185. 111738. <https://doi.org/10.1016/j.jpics.2023.111738>.
- Boushehrian M.M., Esmaceli H., Foroutan R. Ultrasonic assisted synthesis of Kaolin/ CuFe_2O_4 nanocomposite for removing cationic dyes from aqueous media. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2020. Vol. 8, Is. 4. 103869. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103869>.
- Chenab K.K., Sohrabi B., Jafari A., Ramakrishna S. Water treatment: functional nanomaterials and applications from adsorption to photodegradation. *Materials Today Chemistry*. 2020. Vol. 16. 100262. <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2020.100262>.
- Chukanov N.V., Chervonnyi A.D. IR Spectra of Minerals and Related Compounds, and Reference Samples' Data. In: *Infrared Spectroscopy of Minerals and Related Compounds*. Springer Mineralogy. Springer, Cham. 2016. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25349-7_2.
- Din M.I., Khalid R., Najeeb J., Hussain Z. Fundamentals and photocatalysis of methylene blue dye using various nanocatalytic assemblies- a critical review. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 298. 126567. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126567>.

Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.legislation.gov.uk/eudr/2020/2184> (дата звернення: 01.05.2025).

Duhan J., Dhuva B., Obrai S. Dual functional neodymium-yttrium binary oxide for adsorption of Congo red dye and as well as optical detection of cyanocobalamin. *Journal of Water Process Engineering*. 2025. Vol. 75. 107974. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107974>.

Frolova L.A., Hrydnieva T.V. Synthesis, structural, magnetic and photocatalytic properties of MFe_2O_4 (M=Co, Mn, Zn) ferrite nanoparticles obtained by plasmachemical method. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2020. Vol. 28(2). P. 202–210. <https://dx.doi.org/10.15421/082022>.

Gao H.J., Wang S.F., Fang L.M., et al. Nanostructured spinel-type $M(M = Mg, Co, Zn)Cr_2O_4$ oxides: novel adsorbents for aqueous Congo red removal. *Materials Today Chemistry*. 2021. Vol. 22. 100593. <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2021.100593>.

Karadayı M., Güllüce E., Gülşahin Y., et al. Molecular docking assisted toxicity assessment of Congo Red and detoxification potential of *Fraxinus excelsior* L. (Oleaceae) biosorbent application. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2025. <https://doi.org/10.1007/s13399-025-06842-9>.

Khan M.A., Kuldeep, Yadav S., Singh N., Basheed G.A. Enhanced adsorption of congo red dye using dried chitosan functionalized $MnFe_2O_4$ viscoelastic fluid. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2025. Vol. 709, Part 2. 136166. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2025.136166>.

Khan Z.A., Elwakeel K.Z., Mashabi R.A., Elgarahy A.M. Adsorption of anionic dyes onto 1,5-Diphenylcarbazine functionalized magnetic hybrid polymer: Impact of water salinity and surfactants on adsorption isotherms. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2024. Vol. 131. P. 569–584. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2023.10.061>.

Modi K.B., Vara R.P., Vora H.G., Chhantbar M.C., Joshia H.H. Infrared spectroscopic study of Fe^{3+} substituted yttrium iron garnet. *Journal of materials science*. 2004. Vol. 39. P. 2187–2189 <https://doi.org/10.1023/B:JMSE.0000017784.45403.5b>.

Semwal N., Mahar D., Chatti M., et al. Adsorptive removal of Congo Red dye from its aqueous solution by Ag-Cu-CeO₂ nanocomposites: Adsorption kinetics, isotherms, and thermodynamics. *Heliyon*. 2023. Vol. 9, Is. 11. e22027. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22027>.

Shanmugavel T., Gokul Raj S., Ramesh Kumar G., Rajarajana G. Synthesis and Structural Analysis of Nanocrystalline $MnFe_2O_4$. *Physics Procedia*. 2014. Vol. 54. P. 159–163. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2014.10.053>.

Quintanilla-Villanueva G.E., Sicardi-Segade A., Luna-Moreno D., et al. Recent Advances in Congo Red Degradation by TiO₂-Based Photocatalysts Under Visible Light. *Catalysts*. 2025. Vol. 15, Is. 84. <https://doi.org/10.3390/catal15010084>.

Wang L., Li J., Wang Y., Zhao L., Jiang Q. Adsorption capability for Congo red on nanocrystalline MFe_2O_4 (M = Mn, Fe, Co, Ni) spinel ferrites. *Chemical Engineering Journal*. 2012. Vol. 181. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.10.088>.

References

Bushkova, V.S., Ostafiychuk, B.K., & Kopayev, A.V. (2013). Osoblyvosti syntezu skladnykh oksydnykh system z vykorystannyam ZHA-metodu [Features of Synthesis of Complex Oxide Systems by Means of SGA-Method]. *Fizyka i khimiya tverdoho tila [Physics and chemistry of solid state]*, 15 (1), 182–185. [in Ukrainian]

Kaminskyy, O.M., Denysyuk, R.O., Chayka, M.V., Pysarenko, S.V., & Panasyuk, D.Yu. (2023). Sorbtsiya yonnykh form Tsynku(II) z vodnykh rozchyniv poverkhnyamy mahnitochutlyvykh nanokompozytiv, modyfikovanykh hidroksyapatytom [Sorption of ionic forms of Zinc(II) from aqueous solutions by the surfaces of magnetically sensitive nanocomposites modified with hydroxyapatite]. *Ukrayinskyi zhurnal pryrodnychykh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 5, 70–79. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.5.2023.8> [in Ukrainian]

Ahmad, N., Kameda, T., Rahman, M. T., Rahman, F., & Lesbani, A. (2025). Preparation of a new hybrid MgAlLDH@Magnetite activated charcoal by hydrothermal method for stability and adsorption mechanism of congo red. *Results in Surfaces and Interfaces*, 18, 100440. <https://doi.org/10.1016/j.rsurfi.2025.100440> [in English].

Boumya, W., Khnifira, M., & Farid, Z., et al. (2024). Comparative study of cationic Nile blue and anionic methyl orange dyes adsorption in water on the (110) surface of metal chlorides by DFT and MD approaches. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 185, 111738. <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2023.111738> [in English].

- Boushehrian, M.M., Esmaceli, H., & Foroutan, R. (2020). Ultrasonic assisted synthesis of Kaolin/ CuFe_2O_4 nanocomposite for removing cationic dyes from aqueous media. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8 (4), 103869. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103869> [in English].
- Chenab, K.K., Sohrabi, B., Jafari, A., & Ramakrishna, S. (2020). Water treatment: functional nanomaterials and applications from adsorption to photodegradation. *Materials Today Chemistry*, 16, 100262. <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2020.100262> [in English].
- Chukanov, N.V., & Chervonnyi, A.D. (2016). IR Spectra of Minerals and Related Compounds, and Reference Samples' Data. In: Infrared Spectroscopy of Minerals and Related Compounds. Springer Mineralogy. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25349-7_2 [in English].
- Din, M.I., Khalid, R., Najeeb, J., & Hussain, Z. (2021). Fundamentals and photocatalysis of methylene blue dye using various nanocatalytic assemblies- a critical review. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126567. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126567> [in English].
- Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption. [Electronic resource]. URL: <https://www.legislation.gov.uk/eudr/2020/2184> (access date 01.05.2025) [in English].
- Duhan, J., Dhuva, B., & Obrai, S. (2025). Dual functional neodymium-yttrium binary oxide for adsorption of Congo red dye and as well as optical detection of cyanocobalamin. *Journal of Water Process Engineering*, 75, 107974. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107974> [in English].
- Frolova, L.A., & Hrydnieva, T.V. (2020). Synthesis, structural, magnetic and photocatalytic properties of MFe_2O_4 (M=Co, Mn, Zn) ferrite nanoparticles obtained by plasmachemical method. *Journal of Chemistry and Technologies*, 28 (2), 202–210. <https://dx.doi.org/10.15421/082022>
- Gao, H.J., Wang, S.F., & Fang, L.M., et al. (2021). Nanostructured spinel-type $\text{M}(\text{M} = \text{Mg}, \text{Co}, \text{Zn})\text{Cr}_2\text{O}_4$ oxides: novel adsorbents for aqueous Congo red removal. *Materials Today Chemistry*, 22, 100593. <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2021.100593> [in English].
- Karadayı, M., Güllüce, E., & Gülşahin, Y., et al. (2025). Molecular docking assisted toxicity assessment of Congo Red and detoxification potential of *Fraxinus excelsior* L. (Oleaceae) biosorbent application. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-025-06842-9> [in English].
- Khan, M.A., Kuldeep, Yadav, S., Singh, N., & Basheed, G.A. (2025). Enhanced adsorption of congo red dye using dried chitosan functionalized MnFe_2O_4 viscoelastic fluid. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 709 (2), 136166. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2025.136166> [in English].
- Khan, Z.A., Elwakeel, K.Z., Mashabi, R.A., & Elgarahy, A.M. (2024). Adsorption of anionic dyes onto 1,5-Diphenylcarbazine functionalized magnetic hybrid polymer: Impact of water salinity and surfactants on adsorption isotherms. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 131, 569–584. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2023.10.061> [in English].
- Modi, K.B., Vara, R.P., Vora, H.G., Chhantbar, M.C., & Joshia, H.H. (2004). Infrared spectroscopic study of Fe^{3+} substituted yttrium iron garnet. *Journal of materials science*, 39, 2187–2189. <https://doi.org/10.1023/B:JMSE.0000017784.45403.5b> [in English].
- Semwal, N., Mahar, D., & Chatti, M., et al. (2023). Adsorptive removal of Congo Red dye from its aqueous solution by Ag-Cu-CeO₂ nanocomposites: Adsorption kinetics, isotherms, and thermodynamics. *Heliyon*, 9 (11), e22027. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22027> [in English].
- Shanmugavel, T., Gokul Raj, S., Ramesh Kumar, G., & Rajarajana, G. (2014). Synthesis and Structural Analysis of Nanocrystalline MnFe_2O_4 . *Physics Procedia*, 54, 159–163. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2014.10.053> [in English].
- Quintanilla-Villanueva, G.E., Sicardi-Segade, A., & Luna-Moreno, D., et al. (2025). Recent Advances in Congo Red Degradation by TiO₂-Based Photocatalysts Under Visible Light. *Catalysts*, 15 (84). <https://doi.org/10.3390/catal15010084> [in English].
- Wang, L., Li, J., Wang, Y., Zhao, L., & Jiang, Q. (2012). Adsorption capability for Congo red on nanocrystalline MFe_2O_4 (M = Mn, Fe, Co, Ni) spinel ferrites. *Chemical Engineering Journal*, 181, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.10.088> [in English].

Отримано: 22.07.2025
Прийнято: 27.08.2025
Опубліковано: 17.10.2025





УДК 544.723:547.97:661.882

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.20>

АДСОРБЦІЯ ІНДИГОКАРМІНУ З РОЗЧИНУ НАНОРОЗМІРНИМ ТИТАН ДІОКСИДОМ

С. В. Кучерук¹, О. М. Камінський², Р. О. Денисюк³, О. В. Анічкіна⁴, О. Ю. Авдєєва⁵

У роботі досліджено фізико-хімічні властивості титан діоксиду як адсорбенту барвника індигокарміну з водних розчинів. Вихідний зразок охарактеризовано методами СЕМ та XRD спектроскопії. Виявлено, що розмір частинок титан діоксиду є меншим за 150 нм, частинки схильні до утворення агрегатів, а середній розмір частинок адсорбенту, за даними рентгенівської дифракції, становить 44,20 нм. Показано, що протягом перших 5 хвилин від початку контакту адсорбат – адсорбент адсорбційна ємність становить 0,3 мг/г, а максимальної величини 1,25 мг/г досягає протягом 90 хвилин. Характер кінетичної кривої вказує на те, що адсорбційна рівновага настає протягом перших 30–40 хвилин від початку контакту між молекулами барвника й адсорбенту. Подальше збільшення часу контакту розчину з адсорбентом не сприяє зростанню величини адсорбції.

¹ доктор філософії з галузі знань Хімічна та біоінженерія,
доцент, доцент кафедри хімії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: snezhunka1107@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5978-487X

² кандидат хімічних наук, доцент,
доцент кафедри хімії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: alexkamin@ukr.net
ORCID: 0000-0003-1971-8437

³ кандидат хімічних наук, доцент,
доцент кафедри хімії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: denisuknet@ukr.net
ORCID: 0000-0003-3077-3795

⁴ кандидат педагогічних наук, доцент,
завідувач кафедри хімії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: eva_kvitka@meta.ua
ORCID: 0000-0003-4843-0707

⁵ доктор філософії з галузі знань 011 Освітні, педагогічні науки,
доцент, доцент кафедри хімії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: Avdieieva-O@zu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-6550-0776

Встановлено, що ймовірним механізмом адсорбції є міжмолекулярна взаємодія на межі поділу адсорбат – адсорбент завдяки силам Ван-дер-Ваальса та водневим зв'язкам між молекулами індигокарміну та поверхневими групами титан діоксиду. Такий механізм взаємодії на межі поділу є безпосереднім наслідком, що впливає з кінетичної моделі псевдодругого порядку з початковою швидкістю адсорбції 0,082 мг/г·хв. Показано, що адсорбційна ємність поверхні титан діоксиду становить 1,25 мг/г. Характер кривої нагадує ізотерми Ленгмюра (тип L5), що має максимум, згідно із класифікацією Гільса. Такий тип ізотерм вказує на мономолекулярну адсорбцію на межі поділу фаз, де молекули барвника проходять процеси асоціації в розчині. Визначено, що ізотерма адсорбції індигокарміну задовільно описується моделлю Ленгмюра, порівняно з іншими моделями, що можна побачити з величини коефіцієнта кореляції ($R^2 = 0,623$), тобто адсорбція молекул барвника відбувається на гомогенних (однорідних) центрах поверхні титан діоксиду, де всі активні центри є енергетично однорідними, на поверхні може утворюватися лише мономолекулярний шар адсорбату. Розрахована енергія адсорбції за рівнянням Дубініна – Радушкевича для поверхні адсорбенту не перевищує 2 кДж/моль, що вказує на фізичну адсорбцію молекул індигокарміну на поверхні титан діоксиду, а розрахунок вільної енергії Гіббса процесу адсорбції дозволяє стверджувати, що адсорбція за даної температури є несамоочинним нерівноважним процесом.

Ключові слова: адсорбція, кінетичні моделі, ізотерми адсорбції, індигокармін, титан діоксид.

ADSORPTION OF INDIGO CARMINE FROM SOLUTION BY NANOSCALE TITANIUM DIOXIDE

S. V. Kucheruk, O. M. Kaminskyi, R. O. Denysiuk, O. V. Anichkina, O. Yu. Avdieieva

In this paper, we looked at the physical and chemical properties of titanium dioxide as an adsorbent for indigo carmine dye from water solutions. The starting sample was characterised using SEM and XRD spectroscopy. It was found that the size of titanium dioxide particles is less than 150 nm, the particles are prone to aggregate formation, and the average particle size of the adsorbent according to X-ray diffraction data is 44,20 nm. It was shown that during the first 5 minutes from the start of the adsorbate-adsorbent contact, the adsorption capacity is 0,3 mg/g, and the maximum value of 1,25 mg/g is reached within 90 minutes. The nature of the kinetic curve indicates that adsorption equilibrium occurs within the first 30–40 minutes from the start of contact between the dye molecules and the adsorbent. A further increase in the contact time of the solution with the adsorbent does not contribute to an increase in the adsorption value.

It has been established that the probable mechanism of adsorption is intermolecular interaction at the adsorbate-adsorbent interface due to Van der Waals forces and hydrogen bonds between indigo carmine molecules and titanium dioxide surface groups. This mechanism of interaction at the interface is a direct consequence of the pseudo-second-order kinetic model with an initial adsorption rate of 0,082 mg/g·min. It has been shown that the adsorption capacity of the titanium dioxide surface is 1,25 mg/g. The nature of the curve resembles the Langmuir isotherm (type L5), which has a maximum according to the Hils classification.

This type of isotherm indicates monomolecular adsorption at the phase boundary, where dye molecules undergo association processes in solution. It has been determined that the adsorption isotherm of indigo carmine is satisfactorily described by the Langmuir model, compared to other models, as can be seen from the correlation coefficient ($R^2 = 0,623$), i.e., the adsorption of dye molecules occurs at homogeneous (uniform) centres of the titanium dioxide surface, where all active centres are energetically homogeneous and only a monomolecular layer of adsorbate can form on the surface. The calculated adsorption energy according to the Dubinin – Radushkevich equation for the adsorbent surface does not exceed 2 kJ/mol, which indicates the physical adsorption of indigo carmine molecules on the surface of titanium dioxide, and the calculation of the Gibbs free energy of the adsorption process allows us to conclude that adsorption at this temperature is a non-spontaneous, non-equilibrium process.

Key words: adsorption, kinetic models, adsorption isotherms, indigo carmine, titanium dioxide.

Вступ

Вода відіграє ключову роль у підтримці життя на планеті: вона забезпечує перебіг біологічних процесів, впливає на кліматичну рівновагу, сприяє збереженню здоров'я та гігієни, а також є незамінною

в сільському господарстві та промисловості (Kusuma et al., 2024). Однією з найгостріших екологічних і соціальних проблем сьогодення є забезпечення якості питної води. Попри досягнення у сфері водопостачання, мільйони людей і досі не мають стабільного

доступу до безпечної для споживання води. Угода про асоціацію з ЄС і Директива ЄС (Directive ..., 2020) підкреслюють, що вода є основним продуктом харчування, тож розроблення ефективних методів її очищення до рівня питної залишається актуальним завданням.

У процесі виробництва текстильної продукції, паперу та целюлози у водне середовище потрапляє велика кількість шкідливих барвників, пігментів, іонів важких металів (Ticharondwa et al., 2020), також продукти фармацевтичного виробництва, фенольні сполуки, пестициди й інше є прикладами найпоширеніших забруднювачів, що містяться у стічних водах (Kordbacheh & Heidari, 2023; Aissa et al., 2024). Як зазначають автори (Keshavarzi et al., 2024), вплив барвників та інших органічних забруднювачів на водні ресурси є найбільшим. Викид барвників у навколишнє середовище може мати негативний вплив на якість повітря, ґрунту та природних водних ресурсів. Наявність нерозкладних органічних матеріалів може порушити харчовий ланцюг водної флори та фауни, що призведе до смертності риби, водоростей та інших водних видів, що зрештою призведе до руйнування всієї екологічної системи (Dutta et al., 2024). Їх усунення є надзвичайно важливим, оскільки вони суттєво впливають на якість води. Барвники, навіть у мінімальних концентраціях, є візуально помітними та небажаними, до того ж багато з них мають токсичну або навіть канцерогенну дію. Часто залишкове забарвлення зберігається у воді навіть після промислового очищення. Такі стоки, потрапляючи у водойми, блокують проникнення світла, що порушує процес фотосинтезу та негативно впливає на екосистеми водойм (Zou et al., 2024).

Індигокармін (далі – IC), часто відомий як кислотний синій – це аніонний барвник, є похідним індолу. Він використовується для: фарбування текстилю, виготовлення косметичних, дерматологічних і антибактеріальних засобів тощо (Adam et al., 2022). Однак індигокармін є потужним токсином для клітин ссавців та виявляє високу стійкість у водних розчинах (Aissa et al., 2024).

На даному етапі розвитку технологій існує низка методів очистки водойм від небезпечних забруднювачів, серед яких можна виділити: мембранну фільтрацію, фотокаталітичну деструкцію, іонний обмін, хімічне осадження і адсорбцію (Shi et al., 2019; Zhang, 2019; Pysarenko et al., 2022;

Li et al., 2024). Кожна із цих технологій має свої сильні сторони й обмеження. Проте адсорбція залишається одним із найефективніших способів видалення стійких забрудників, зокрема барвників, порівняно з іншими методами очищення (Wang et al., 2019). До основних переваг адсорбційного методу належать економічна вигідність і висока ефективність, зумовлені простотою реалізації та широкою доступністю адсорбентів. Окрім іншого, на ефективність процесу адсорбції істотно впливають такі характеристики адсорбенту, як: питома площа поверхні, наявність функціональних груп на його поверхні, розмір частинок та інше (Dalmaz et al., 2024).

Серед найбільш поширених адсорбентів можна виділити оксиди Алюмінію, Феруму, силікагель, активоване вугілля, різні види глин, полімерні речовини та біoadсорбенти (Lyu et al., 2020; Lima et al., 2020; Khnifra et al., 2021; Sangor et al., 2023). Сполуки Титану належать до одних із перспективних адсорбентів, розроблення яких залишається актуальним завданням сьогодення, тому дослідження процесів адсорбції поверхніми титановмісних сполук барвників із водних розчинів, наприклад індигокарміну, є малодослідженими, що й визначає актуальність даної роботи.

Матеріал і методи

Для дослідження адсорбційної активності за об'єкти дослідження обрано барвник індигокармін (ч.д.а.) та титан діоксид (ч.д.а.) виробництва Китаю. З метою вивчення морфології та встановлення середнього розміру частинок вихідного TiO_2 проведено низку фізико-хімічних досліджень. Методами сканувальної електронної мікроскопії з використанням сканувального електронного мікроскопа "Selmi" за роздільного збільшення 50–200 μm досліджено морфологію зразків титан діоксиду. На рис. 1 зображено СЕМ-фотографії зразка титан діоксиду.

Виявлено, що середній розмір частинок титан діоксиду є меншим за 150 нм, частинки схильні до утворення агрегатів. Дифракційні картини титан діоксиду реєстрували за допомогою рентгенівського дифрактометра «ДРОН-3М» (випромінювання міді, лінія $K\alpha$, $\lambda = 0,1540$ нм). Отримані XRD дифрактограми проаналізовано за допомогою програмного забезпечення "MATCH!4" (рис. 2).

Під час аналізу дифрактограми виявлено фазу TiO_2 у зразку з характеристичними піками за 27,41; 36,05; 39,19; 41,21;

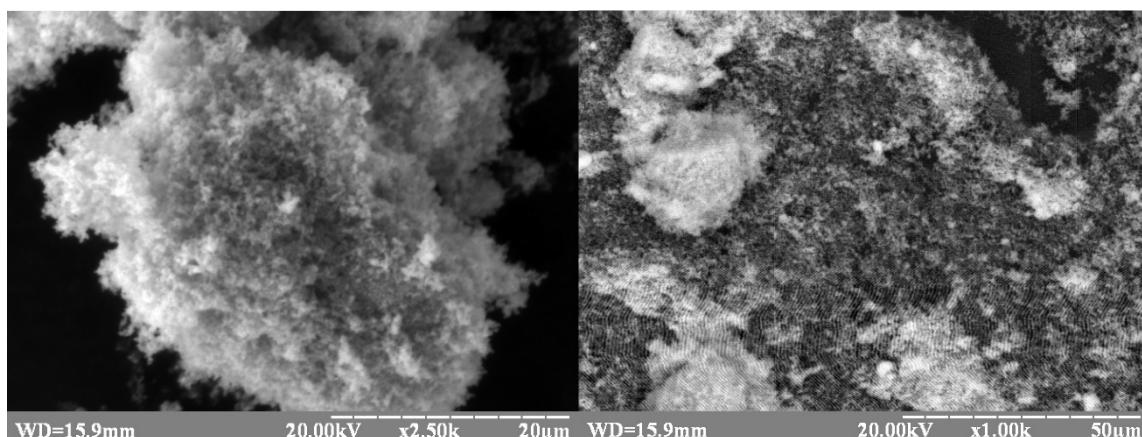


Рис. 1. СЕМ-фотографії зразка титан діоксиду

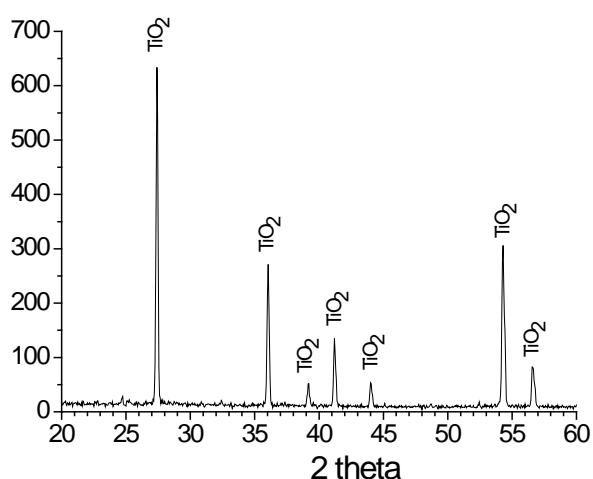


Рис. 2. Дифрактограма титан діоксиду

44,03; 54,30 та 56,62 2θ кутів. Для розрахунку середнього розміру частинок титан діоксиду для даних кутів 2θ використано формулу Шеррера (Shehata et al, 2021):

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta}, \quad (1)$$

де D – середній розмір частинок, нм; K – константа Шеррера, яка для кристалічних систем має середнє значення 0,92; λ – довжина хвилі рентгенівського випромінювання (лінія $K\alpha = 0,1540$ нм); β – кутова напівширина дифракційного максимуму за характерних індексів Міллера (hkl) для кристалічної решітки; θ – кут рентгенівської дифракції.

У таблиці 1 наведено основні розрахункові дані характеристик елементарної комірки та середній розмір частинок на

основі дифрактограми титан діоксиду та формули 1. Розрахунок виконано за допомогою програмного забезпечення “МАТСН!4”. Встановлено, що середній розмір частинок TiO_2 , за даними рентгенівської дифракції, становить 44,20 нм.

Для дослідження залежності адсорбційної ємності барвника індигокарміну від часу контакту відважували по 0,005 г зразків, додавали 25 мл розчину барвника із $C_0 = 6$ мг/л та перемішували за допомогою лабораторного перемішувача ЛАБ-ПУ-02. Діапазон часу контакту між розчином і адсорбентом становив: 5, 10, 30, 60 та 90 хв. Температура, за якої проводилось дослідження, становила 293 К.

Для дослідження процесів адсорбції барвника індигокарміну з водних розчинів поверхнею титан діоксиду готували розчини барвника з концентраціями 2–10 мг/л шляхом розведення аліквоти, відібраної з вихідного розчину (50 мг/л). Адсорбцію барвника з водних розчинів здійснювали у статичному режимі за кімнатної температури. Для побудови кривих ізотерм адсорбції індигокарміну з водних розчинів використано діапазон концентрацій розчинів барвника: 2, 4, 6, 8 та 10 мг/л. Маса зразків адсорбентів становили 0,005 г кожен, об’єм розчину барвника – 25 мл, а час контакту між компонентами становив 90 хв. Після завершення процесу адсорбції адсорбент відділяли від розчину за допомогою центрифуги протягом 5 хвилин зі швидкістю 2 500 об/хв та визначали залишкову концентрацію барвника. Концентрацію розчинів до та після адсорбції визначали спектрофотометрично за допомогою спектрофотометра UV-1200 за довжини хвилі 615 нм.

Таблиця 1

Основні розрахункові дані характеристик елементарної комірки та середній розмір частинок титан діоксиду

2θ	$d_{(hkl)}$	hkl	β	$D, \text{нм}$
27,41	3,2456	110	0,172	48,56
36,05	2,4876	101	0,189	45,05
39,19	2,2950	200	0,185	46,46
41,21	2,1871	111	0,197	44,01
44,03	2,0527	210	0,203	43,09
54,30	1,6868	211	0,239	38,03
56,62	1,6228	220	0,255	36,13

Ємність адсорбенту A , мг/г, розраховували за формулою:

$$A = \frac{(C_0 - C_p) \cdot V}{m}, \quad (2)$$

$A = \frac{(C_0 - C_p) \cdot V}{m}$ де C_0 і C_p – концентрація вихідного розчину та розчину після адсорбції (мг/л); V – об'єм розчину (л); m – наважка адсорбенту (г).

Коефіцієнт розподілу E (мл/г) на межі фаз «поверхня адсорбенту – розчин» обраховували за формулою:

$$E = \frac{A}{C_p} \cdot 1000. \quad (3)$$

Кінетику та ймовірний механізм процесу адсорбції індигокарміну поверхнею титан діоксиду з розчину проаналізовано відповідно до моделей псевдопершого порядку Лагергрена та псевдодругого порядку Хо – Маккея, математичний вираз яких зазначено в роботі авторів (Писаренко та ін., 2024). Для обробки одержаних ізотерм адсорбції індигокарміну з водних розчинів використано математичні моделі адсорбції Ленгмюра, Фрейндліха, Тьомкіна та Дубініна – Радушкевича, фізичний зміст яких описано у працях (Камінський та ін., 2024, Писаренко та ін., 2024).

Результати та їх обговорення

З метою встановлення можливих механізмів адсорбції індигокарміну з розчинів поверхнею титан діоксиду побудовано залежність адсорбційної ємності від часу контакту між адсорбатом – адсорбентом (рис. 3).

Як видно з рисунка (див. рис. 3), протягом перших 5 хвилин від початку контакту адсорбат – адсорбент поверхнею титан діоксиду адсорбційна ємність становить 0,3 мг/г, а максимальної величини 1,25 мг/г досягнуто протягом 90 хвилин від початку

контакту компонентів. Характер кінетичної кривої вказує на те, що адсорбційна рівновага настає протягом перших 30–40 хвилин від початку контакту між молекулами барвника й адсорбенту. Подальше збільшення часу контакту розчину з адсорбентом не сприяє зростанню величини адсорбції.

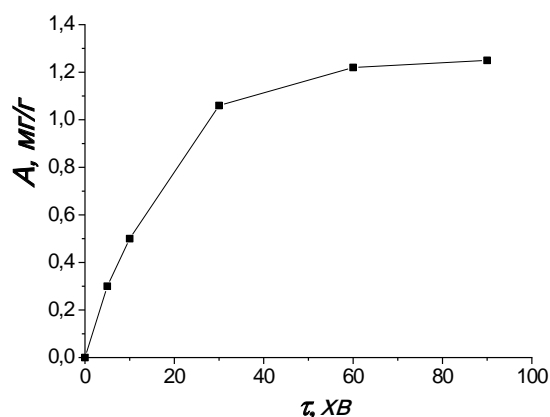


Рис. 3. Залежність адсорбційної ємності від часу контакту

Для визначення можливого механізму процесу адсорбції та початкової швидкості адсорбції індигокарміну поверхнею титан діоксиду часову залежність проаналізовано відповідно до кінетичних моделей псевдопершого (Лагергрена) та псевдодругого (Хо – Маккея) порядків. На рис. 4 показано графіки кінетичних моделей псевдопершого та псевдодругого порядків.

Визначено, що ймовірним механізмом адсорбції є міжмолекулярна взаємодія на межі поділу адсорбат – адсорбент завдяки силам Ван-дер-Ваальса та водневим зв'язкам між молекулами індигокарміну та поверхневими групами титан діоксиду. Такий механізм взаємодії на межі поділу

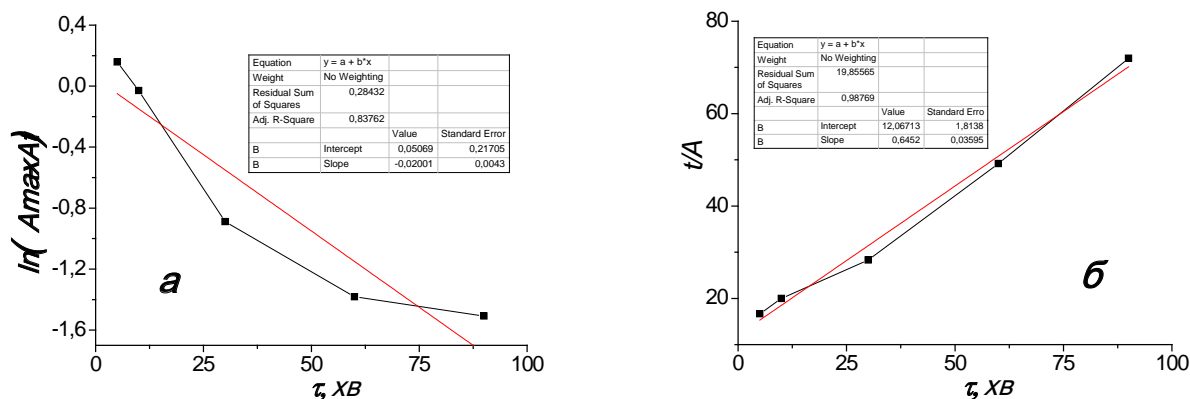


Рис. 4. Кінетичні залежності адсорбції індигокарміну поверхнею титан діоксиду відповідно до моделей псевдопершого (а) та псевдодругого (б) порядків

є безпосереднім наслідком, що впливає з кінетичної моделі псевдодругого порядку ($R^2 = 0,988$).

Даний механізм адсорбції також дозволяє враховувати міжмолекулярні взаємодії між молекулами адсорбату на поверхні. Розраховано, що початкова швидкість адсорбції становить 0,082 мг/г·хв. На рис. 5 зображено ізотерму адсорбції індигокарміну з розчинів поверхнею титан діоксиду.

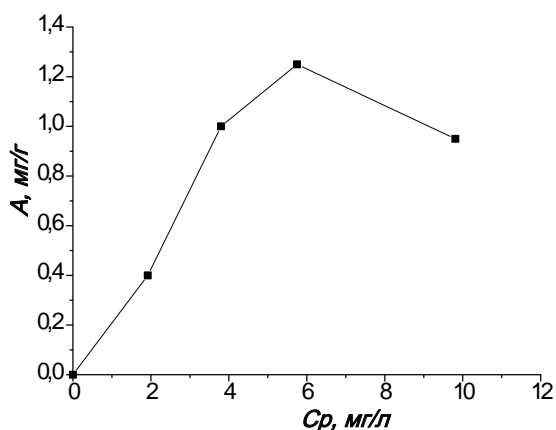


Рис. 5. Ізотерма адсорбції індигокарміну з водних розчинів поверхнею титан діоксиду

Встановлено, що адсорбційна ємність поверхні титан діоксиду становить 1,25 мг/г. Характер кривої нагадує ізотерми Ленгмюра (тип L5), що має максимум, згідно із класифікацією Гільса (Giles et al., 1960). Такий тип ізотерм вказує на мономолекулярну адсорбцію на межі поділу фаз, де молекули барвника проходять процеси асоціації в розчині. Одержані експериментальні дані щодо адсорбції індигокарміну поверхнею титан діоксиду наведено в таблиці 2.

Відповідно до даних таблиці, коефіцієнт розподілу між розчином барвника та поверхнею титан діоксиду становить 217,39 мл/г (для $C_0 = 6$ мг/л), що вказує на те, що поверхня адсорбенту має низьку спорідненість із молекулами індигокарміну й сили міжмолекулярної взаємодії на межі поділу фаз менші, ніж в об'ємі розчину.

Ізотерми адсорбції проаналізовано за моделями адсорбції Ленгмюра, Фрейндліха, Тьомкіна та Дубініна – Радушкевича (рис. 6).

У таблиці 3 наведено розрахункові дані відповідно до моделей адсорбції індигокарміну з розчинів на поверхню титан діоксиду.

Як видно з таблиці, ізотерма адсорбції індигокарміну задовільно описується моделлю Ленгмюра, порівняно з іншими моделями, що можна побачити з величини коефіцієнта кореляції ($R^2 = 0,623$). Це вказує на те, що адсорбція молекул барвника відбувається на гомогенних (однорідних) центрах поверхні титан діоксиду, де всі активні центри є енергетично однорідними й на поверхні може утворюватися лише мономолекулярний шар адсорбату.

Також, окрім R^2 , ізотерму Ленгмюра проаналізовано відповідно до формули:

$$R_L = \frac{1}{(1 + K_L \cdot C_0)}, \quad (4)$$

де R_L кількісно характеризує тип ізотерми Ленгмюра та перебуває в межах ($0 < R_L < 1$); K_L – константа Ленгмюра, C_0 – початкова концентрація речовини в розчині.

Розраховано, що R_L становить 0,281, тобто адсорбція індигокарміну з розчину поверхнею титан діоксиду справді можна описати моделлю Ленгмюра. Розрахована енергія адсорбції за рівнянням Дубініна – Радушкевича для поверхні адсорбенту не перевищує 2 кДж/моль, що вказує

Таблиця 2

Експериментальні дані щодо адсорбції індигокарміну поверхнею титан діоксиду

Поверхня	C_0 , мг/л	C_p , мг/л	A, мг/г	E, мДж/г
TiO ₂	2,00	1,92	0,40	208,33
	4,00	3,80	1,00	263,16
	6,00	5,75	1,25	217,39
	8,00	7,86	0,70	89,06
	10,00	9,81	0,95	96,84

Таблиця 3

Розрахункові дані відповідно до моделей адсорбції індигокарміну з розчинів на поверхню титан діоксиду

Модель Ленгмюра			Модель Фрейндліха			
A_{max} , мг/г	K_L , л/мг	R^2	n	K_F	R^2	
$1,303 \pm 0,906$	$0,426 \pm 0,051$	0,623	$1,786 \pm 0,535$	$0,640 \pm 0,132$	0,387	
Модель Тьомкіна			Модель Дубініна – Радушкевича			
b_T	K_T	R^2	A_{max} , ммоль/г	K , моль ² /кДж ²	E, кДж/моль	R^2
$0,375 \pm 0,254$	$2,440 \pm 0,765$	0,281	$7,742 \pm 0,556$	$0,120 \pm 0,005$	$1,271 \pm 0,012$	0,996

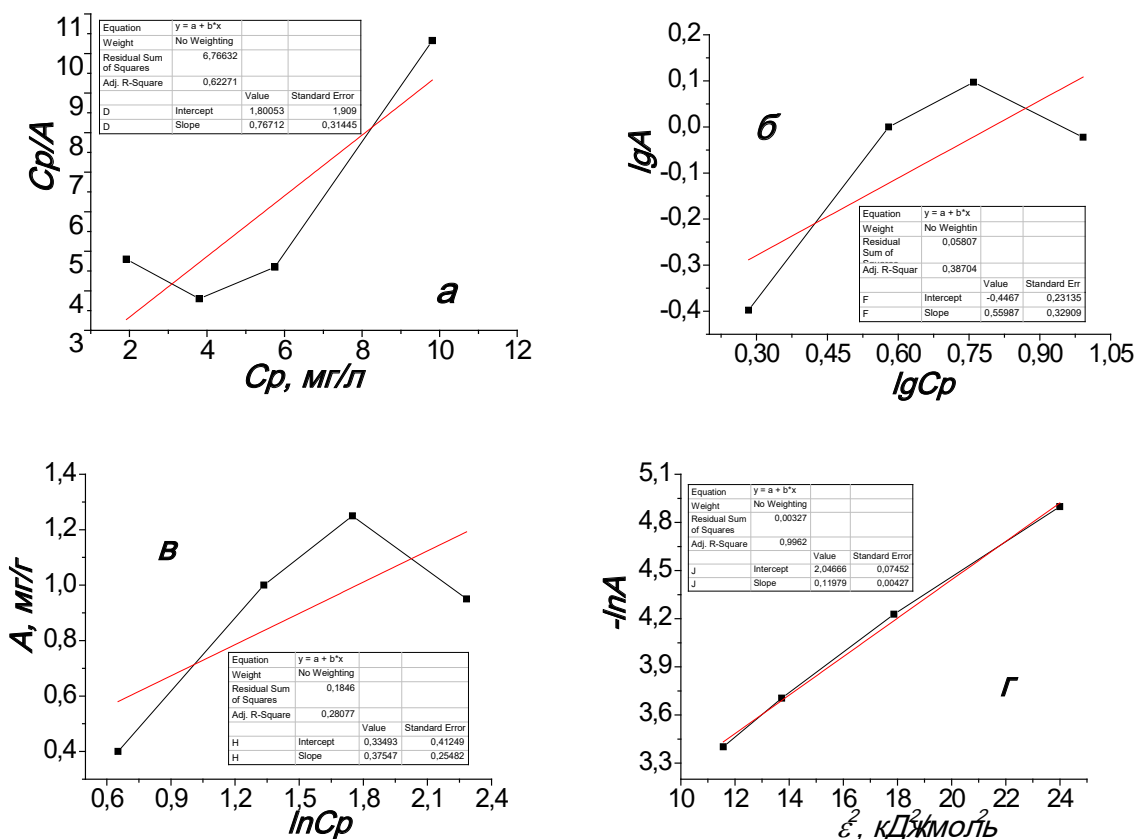


Рис. 6. Моделі ізотерм адсорбції індигокарміну з водних розчинів поверхнею титан діоксиду Ленгмюра (а), Фрейндліха (б), Тьомкіна (в) та Дубініна – Радушкевича (г)

на фізичну адсорбцію молекул індигокарміну на поверхні титан діоксиду.

Для розрахунку вільної енергії Гіббса процесу адсорбції барвника та визначення

самочинності проходження процесу за температури експерименту 293 К використано формулу, що описує ізотерму хімічної реакції:

$${}^{\Delta}G = -2,3RT \lg(K_n), \quad (5)$$

де R – універсальна газова стала, 8,314 Дж/моль·К.

Розраховано, що вільна енергія Гіббса процесу адсорбції індигокарміну за даної температури становить 2,08 кДж/моль та є додатною величиною, що вказує на несаможивні нерівноважні процеси на межі поділу фаз.

Висновки

У роботі використано титан діоксид як адсорбент барвника індигокарміну з розчинів. Вихідний зразок охарактеризовано методами СЕМ та рентгенівської спектроскопії. Виявлено, що середній розмір частинок титан діоксиду є меншим за 150 нм, частинки схильні до утворення агрегатів. Встановлено, що середній розмір частинок TiO_2 , за даними рентгенівської дифракції, становить 44,20 нм.

Показано, що протягом перших 5 хвилин від початку контакту адсорбат – адсорбент поверхнею титан діоксиду адсорбційна ємність становить 0,3 мг/г, а максимальної величини 1,25 мг/г досягнуто протягом 90 хвилин. Характер кінетичної кривої вказує на те, що адсорбційна рівновага настає протягом перших 30–40 хвилин від початку контакту між молекулами барвника й адсорбенту. Подальше збільшення часу контакту розчину з адсорбентом не сприяє зростанню величини адсорбції.

Встановлено, що ймовірним механізмом адсорбції є міжмолекулярна взаємодія на межі поділу адсорбат – адсорбент зав-

дяки силам Ван-дер-Ваальса та водневим зв'язкам між молекулами індигокарміну та поверхневими групами титан діоксиду. Такий механізм взаємодії на межі поділу є безпосереднім наслідком, що впливає з кінетичної моделі псевдодругого порядку, а початкова швидкість адсорбції становить 0,082 мг/г·хв.

Встановлено, що адсорбційна ємність поверхні титан діоксиду становить 1,25 мг/г. Характер кривої нагадує ізотерми Ленгмюра (тип L5), що має максимум, згідно із класифікацією Гільса. Такий тип ізотерм вказує на мономолекулярну адсорбцію на межі поділу фаз, де молекули барвника проходять процеси асоціації в розчині. Показано, що ізотерма адсорбції індигокарміну задовільно описується моделлю Ленгмюра, порівняно з іншими моделями, що можна побачити з величини коефіцієнта кореляції ($R^2 = 0,623$). Це вказує на те, що адсорбція молекул барвника відбувається на гомогенних (однорідних) центрах поверхні титан діоксиду, де всі активні центри є енергетично однорідними і на поверхні може утворюватись лише мономолекулярний шар адсорбату.

Розрахована енергія адсорбції за рівнянням Дубініна – Радускевича для поверхні адсорбенту не перевищує 2 кДж/моль, що вказує на фізичну адсорбцію молекул індигокарміну на поверхні титан діоксиду, а розрахунок вільної енергії Гіббса процесу адсорбції дозволяє стверджувати, що адсорбція за даної температури є несаможивним нерівноважним процесом.

Список використаної літератури

Камінський О.М., Денисюк Р.О., Чайка М.В., Писаренко С.В., Панасюк Д.Ю., Авдеєв С.В., Євдоченко О.С. Сорбційне виділення іонних форм Купруму(II) з водних розчинів магнітоцупливим нанокмполімером з гідроксиапатитною поверхнею. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 10. С. 75–84. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.10.2024.6>.

Писаренко С.В., Камінський О.М., Денисюк Р.О., Євдоченко О.С., Анічкіна О.В., Авдеєв С.В. Дослідження процесу адсорбції метиленового синього поверхнею калій титанату. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 9. С. 123–132. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.12>.

Adam F.A., Ghoniem M.G., Diawara M. et al. Enhanced adsorptive removal of indigo carmine dye by bismuth oxide doped MgO based adsorbents from aqueous solution: equilibrium, kinetic and computational studies. *RSC Advances*. 2022. Vol. 12. Is. 38. P. 24786–24803. <https://doi.org/10.1039/D2RA02636H>.

Aissa M.A.B., Khairy M., Khalifa M.E. et al. Facile synthesis of TiO_2/ZnO nanoparticles for enhanced removal of methyl orange and indigo carmine dyes: Adsorption, kinetics. *Heliyon*. 2024. Vol. 10. Is. 10. P. e31351. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31351>.

Dalmaz A., Sivrikaya Ö.S. Methylene blue dye efficient removal using activated carbon developed from waste cigarette butts: Adsorption, thermodynamic and kinetics. *Fuel*. 2024. Vol. 372. P. 132151. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.132151>.

Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption [Електронний ресурс]. URL: <https://www.legislation.gov.uk/eudr/2020/2184> (дата звернення 05.07.2025).

Dutta S., Adhikary S., Bhattacharya S. et al. Contamination of textile dyes in aquatic environment: Adverse impacts on aquatic ecosystem and human health, and its management using bioremediation. *Journal of Environmental Management*. 2024. Vol. 353. P. 120103. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120103>.

Giles C.H., MacEwan T.H., Nakhwa S.N., Smith D. Studies in Adsorption: Part XI. A System of Classification of Solution Adsorption Isotherms and Its Use in Diagnosis of Adsorption Mechanisms and in Measurement of Specific Surface Area Solids. *Journal of the Chemical Society*. 1960. Vol. 14. P. 3973–3993. <https://doi.org/10.1039/jr9600003973>.

Keshavarzi F., Samaei M.R., Hashemi H., Azhdarpoor A., Mohammadpour A. Application of montmorillonite/octadecylamine nanoparticles in the removal of textile dye from aqueous solutions: Modeling, kinetic, and equilibrium studies. *Heliyon*. 2024. P. e25919. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25919>.

Kordbacheh F., Heidari G. Water Pollutants and Approaches for Their Removal. *Materials Chemistry Horizons*. 2023. Vol. 2 (2). P. 139–153. <https://doi.org/10.22128/mch.2023.684.1039>.

Khelifa M., El Hamidi S., Mahsoun A., Sadiq M., Serdaroglu G., Kaya S., Qourzal S., Barka N., Abdennouri M. Adsorption of methylene blue cationic dye onto brookite and rutile phases of titanium dioxide: Quantum chemical and molecular dynamic simulation studies. *Inorganic Chemistry Communications*. 2021. Vol. 129. P. 108659. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2021.108659>.

Kusuma H.S., Christa Jaya D.E., Illiyanasafa N., Ikawati K.L., Kurniasari E., Darmokoesoemo H., Amenaghawon A.N. A critical review and bibliometric analysis of methylene blue adsorption using leaves. *Chemosphere*. 2024. P. 141867. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141867>.

Li J., Cao Y., Ding K., Ye J., Li F., Ma C., Lv P., Xu Y., Shi L. Research progress of industrial wastewater treatment technology based on solar interfacial adsorption coupled evaporation process. *Sci. Total Environ*. 2024. P. 172887. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172887>.

Lima J.P., Alvarenga G., Goszczynski A.C., Rosa G.R., Lopes T.J. Batch adsorption of methylene blue dye using *Enterolobium contortisiliquum* as bioadsorbent: Experimental, mathematical modeling and simulation. *J. Ind. Eng. Chem*. 2020. Vol. 91. P. 362–371. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2020.08.029>.

Lyu R., Zhang C., Xia T., Chen S., Wang Z., Luo X., Wang L., Wang Y., Yu J., Wang C. Efficient adsorption of methylene blue by mesoporous silica prepared using sol-gel method employing hydroxyethylcellulose as a template. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp*. 2020. Vol. 606. P. 125425. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125425>.

Pysarenko S., Kaminskyi O., Chyhyrynets O., Denysiuk R., Chernenko V. Photocatalytic destruction and adsorptive processes of methylene blue by potassium titanate. *Mater. Today Proc*. 2022. Vol. 62 (15). P. 7754–7758. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.476>.

Sangor F.I.M.S., Al-Ghouti M.A. Waste-to-value: Synthesis of nano-aluminum oxide (nano- γ - Al_2O_3) from waste aluminum foils for efficient adsorption of methylene blue dye. *Case Stud. Chem. Environ. Eng*. 2023. Vol. 8. P. 100394. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2023.100394>.

Shehata M.M., Waly S.A., Abdelaziz Y.A. Effect of Gd^{3+} doping on structural and optical properties of $\text{MgO-MgAl}_2\text{O}_4$ nanocomposites synthesized via co-precipitation method. *J Mater Sci: Mater Electron*. 2021. Vol. 32. P. 7423–7430. <https://doi.org/10.1007/s10854-021-05455-y>.

Shi D., Huang Y., Wang H., Yuan W., Fu P. Deoiling of oil-coated catalyst using high-speed suspending self-rotation in cyclone. *Sep. Purif. Technol*. 2019. Vol. 210. P. 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.03.059>.

Tichapondwa S.M., Newman J.P., Kubheka O. Effect of TiO_2 phase on the photocatalytic degradation of methylene blue dye. *Phys. Chem. Earth*. 2020. Vol. 118–119. P. 102900. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102900>.

Wang L., Song S., Jiang S., Wang L. Adsorption process optimization for phenolic wastewater treatment with macroporous resin. *Desalin. Water Treat*. 2019. Vol. 143. P. 192–196. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.23275>.

Zou P., Zhang M., Li C., Guo Y., Zhu W., Cheng J., Zhu J. Experimental study on dynamic adsorption properties of methylene blue onto coal-based activated carbon using a hydrocyclone. *Chem. Eng. Process.: Process Intensif*. 2024. Vol. 203. P. 109920. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2024.109920>.

Zhang S. Current status and development trend of China's dyestuff industry. *CIESC Journal*. 2019. Vol. 70 (10). P. 3704–3711.

References

- Kaminskyi, O.M., Denysiuk, R.O., Chaika, M.V., Pysarenko, S.V., Panasiuk, D.Yu., Avdieiev, S.V., & Yevdochenko, O.S. (2024). Sorbtsiine vyluchennia ionnykh form Kuprumu(II) z vodnykh rozchyniv mahnitochutlyvym nanokompozytom z hidroksyapatytnoiu poverkhnei [Sorbptive extraction of ionic forms of Copper(II) from aqueous solutions by a magnetically sensitive nanocomposite with a hydroxyapatite surface]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychykh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 10, 75–84. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.10.2024.6> [in Ukrainian].
- Pysarenko, S.V., Kaminskyi, O.M., Denysiuk, R.O., Yevdochenko, O.S., Anichkina, O.V., & Avdieiev, S.V. (2024). Doslidzhennia protsesu adsorbtsii metylenovoho synoho poverkhnei kalii tytanatu [Study of the process of adsorption of methylene blue by the surface of potassium titanate]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychykh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 9, 123–132. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.12> [in Ukrainian].
- Adam, F.A., Ghoniem, M.G., & Diawara, M., et al. (2022). Enhanced adsorptive removal of indigo carmine dye by bismuth oxide doped MgO based adsorbents from aqueous solution: equilibrium, kinetic and computational studies. *RSC Advances*, 12 (38), 24786–24803. <https://doi.org/10.1039/D2RA02636H> [in English].
- Aissa, M.A.B., Khairy, M., & Khalifa, M.E., et al. (2024). Facile synthesis of TiO₂@ZnO nanoparticles for enhanced removal of methyl orange and indigo carmine dyes: Adsorption, kinetics. *Heliyon*, 10 (10), e31351. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31351> [in English].
- Dalmaz, A., & Sivrikaya, Ö.S. (2024). Methylene blue dye efficient removal using activated carbon developed from waste cigarette butts: Adsorption, thermodynamic and kinetics. *Fuel*, 372, 132151. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.132151> [in English].
- Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption. [Electronic resource] URL: <https://www.legislation.gov.uk/eudr/2020/2184> (accessed date 05.07.2025) [in English].
- Dutta, S., Adhikary, S., & Bhattacharya, S., et al. (2024). Contamination of textile dyes in aquatic environment: Adverse impacts on aquatic ecosystem and human health, and its management using bioremediation. *Journal of Environmental Management*, 353, 120103. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120103> [in English].
- Giles, C.H., MacEwan, T.H., Nakhwa, S.N., & Smith, D. (1960). Studies in Adsorption: Part XI. A System of Classification of Solution Adsorption Isotherms and Its Use in Diagnosis of Adsorption Mechanisms and in Measurement of Specific Surface Area Solids. *Journal of the Chemical Society*, 14, 3973–3993. <http://dx.doi.org/10.1039/jr9600003973> [in English].
- Keshavarzi, F., Samaei, M.R., Hashemi, H., Azhdarpoor, A., & Mohammadpour, A. (2024). Application of montmorillonite/octadecylamine nanoparticles in the removal of textile dye from aqueous solutions: Modeling, kinetic, and equilibrium studies. *Heliyon*, e25919. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25919> [in English].
- Kordbacheh, F., & Heidari, G. (2023). Water Pollutants and Approaches for Their Removal. *Materials Chemistry Horizons*, 2 (2), 139–153. <https://doi.org/10.22128/mch.2023.684.1039> [in English].
- Khelifra, M., El Hamidi, S., Mahsoun, A., Sadiq, M., Serdaroğlu, G., Kaya, S., Qourzal, S., Barka, N., & Abdennouri, M. (2021). Adsorption of methylene blue cationic dye onto brookite and rutile phases of titanium dioxide: Quantum chemical and molecular dynamic simulation studies. *Inorganic Chemistry Communications*, 129, 108659. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2021.108659> [in English].
- Kusuma, H.S., ChristaJaya, D.E., Illiyanasafa, N., Ikawati, K.L., Kurniasari, E., Darmokoesoemo, H., & Amenaghawon, A.N. (2024). A critical review and bibliometric analysis of methylene blue adsorption using leaves. *Chemosphere*, 141867. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141867> [in English].
- Li, J., Cao, Y., Ding, K., Ye, J., Li, F., Ma, C., Lv, P., Xu, Y., & Shi, L. (2024). Research progress of industrial wastewater treatment technology based on solar interfacial adsorption coupled evaporation process. *Sci. Total Environ.*, 172887. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172887> [in English].
- Lima, J.P., Alvarenga, G., Goszczynski, A.C., Rosa, G.R., & Lopes, T.J. (2020). Batch adsorption of methylene blue dye using *Enterolobium contortisiliquum* as bioadsorbent: Experimental, mathematical modeling and simulation. *J. Ind. Eng. Chem.*, 91, 362–371. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2020.08.029> [in English].

Lyu, R., Zhang, C., Xia, T., Chen, S., Wang, Z., Luo, X., Wang, L., Wang, Y., Yu, J., & Wang, C. (2020). Efficient adsorption of methylene blue by mesoporous silica prepared using sol-gel method employing hydroxyethyl cellulose as a template. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.*, 606, 125425. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125425> [in English].

Pysarenko, S., Kaminskyi, O., Chyhyrynets, O., Denysiuk, R., & Chernenko, V. (2022). Photocatalytic destruction and adsorptive processes of methylene blue by potassium titanate. *Mater. Today Proc.*, 62 (15), 7754–7758. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.476> [in English].

Sangor, F.I.M.S., & Al-Ghouti, M.A. (2023). Waste-to-value: Synthesis of nano-aluminum oxide (nano- γ - Al_2O_3) from waste aluminum foils for efficient adsorption of methylene blue dye. *Case Stud. Chem. Environ. Eng.*, 8, 100394. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2023.100394> [in English].

Shehata, M.M., Waly, S.A., & Abdelaziz, Y.A. (2021). Effect of Gd^{3+} doping on structural and optical properties of $\text{MgO-MgAl}_2\text{O}_4$ nanocomposites synthesized via co-precipitation method. *J Mater Sci: Mater Electron.* 32, 7423–7430. <https://doi.org/10.1007/s10854-021-05455-y> [in English].

Shi, D., Huang, Y., Wang, H., Yuan, W., & Fu, P. (2019). Deoiling of oil-coated catalyst using high-speed suspending self-rotation in cyclone. *Sep. Purif. Technol.*, 210, 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.03.059> [in English].

Tichapondwa, S.M., Newman, J.P., & Kubheka, O. (2020). Effect of TiO_2 phase on the photocatalytic degradation of methylene blue dye. *Phys. Chem. Earth.*, 118–119, 102900. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102900> [in English].

Wang, L., Song, S., Jiang, S., & Wang, L. (2019). Adsorption process optimization for phenolic wastewater treatment with macroporous resin. *Desalin. Water Treat.*, 143, 192–196. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.23275> [in English].

Zou, P., Zhang, M., Li, C., Guo, Y., Zhu, W., Cheng, J., & Zhu, J. (2024). Experimental study on dynamic adsorption properties of methylene blue onto coal-based activated carbon using a hydrocyclone. *Chem. Eng. Process.: Process Intensif.*, 109920. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2024.109920> [in English].

Zhang, S. (2019). Current status and development trend of China's dyestuff industry. *CIESC Journal*, 70 (10), 3704–3711 [in English].

Отримано: 25.07.2025

Прийнято: 01.09.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 543.4:535.6

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.21>

**КОМПЛЕКСОУТВОРЕННЯ СОЛЕЙ 6,7-ДИГІДРОКСИ-4-КАРБОКСИЛ-
2-ФЕНІЛБЕНЗОПРИЛІО З МО (VI) ТА W (VI) У ВОДНИХ
ТА ОРГАНІЗОВАНИХ РОЗЧИНАХ**

К. В. Снігур¹, О. М. Жуковецька², О. М. Гузенко³, Д. В. Снігур⁴

Роботу присвячено дослідженню особливостей комплексоутворення Молибдену (VI) та Вольфраму (VI) з низкою солей (бромідом, перхлоратом, хлоридом) 6,7-дигідрокси-4-карбоксил-2-фенілбензопірилію (далі – КДХ) у водних розчинах і організованих середовищах на основі катіонних поверхнево-активних речовин. З використанням фотометричних методів дослідження комплексоутворення встановлено, що у водних розчинах утворюється по одному комплексу зі стехіометричним співвідношенням М (VI) : КДХ 1 : 2 за рН 2,5 та 3,0 відповідно для Молибдену (VI) та Вольфраму (VI). Значення молярних коефіцієнтів світлопоглинання для комплексів Молибдену (VI) та Вольфраму (VI) з КДХ відповідно становлять $3,0 \cdot 10^4$ та $3,1 \cdot 10^4$. Встановлено, що за введення в системи катіонних поверхнево-активних речовин, як-от цетилпіридиній хлориду та цетилтриметиламоній броміду, спостерігається формування потрібних комплексів зі стехіометрією 1 : 2 : 2. Виявлено, що забарвлення розвивається миттєво, а оптична густина одержаних розчинів є незмінною протягом 2 годин. Зазначено, що природа аніона, який входить до складу реагенту КДХ, значуще не змінює хіміко-аналітичні характеристики пропонованих аналітичних форм. Показано, що за введення катіонних поверхнево-активних речовин відбувається зсув оптимального значення рН комплексоутворення в більш кислу область, що призводить до батохромних зсувів смуг погли-

¹ аспірант кафедри аналітичної та токсикологічної хімії
(Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, м. Одеса)
e-mail: snigurkirill27@gmail.com
ORCID: 0009-0006-4619-3866

² доктор філософії,
старший науковий співробітник кафедри аналітичної та токсикологічної хімії
(Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, м. Одеса)
e-mail: zhikovetska@onu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-0382-5003

³ кандидат хімічних наук,
доцент кафедри аналітичної та токсикологічної хімії
(Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, м. Одеса)
e-mail: guzenko@onu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-4002-2629

⁴ кандидат хімічних наук,
доцент кафедри аналітичної та токсикологічної хімії
(Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, м. Одеса)
e-mail: snigur@onu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-4183-0321

нання продуктів взаємодії на 30–40 нм і збільшення величин молярних коефіцієнтів світлопоглинання до $6,4 \cdot 10^4$ та $7,9 \cdot 10^4$ (для W (VI): $6,7 \cdot 10^4$ та $8,1 \cdot 10^4$) для цетилпіридинію хлориду та цетилтриметиламонію броміду відповідно. Зазначено, що аналітичні форми, отримані в результаті взаємодії Молибдену (VI) та Вольфраму (VI) з КДХ у потрійних системах, можуть слугувати основою для розроблення комбінованих спектроскопічних методик визначення їхніх слідових концентрацій.

Ключові слова: Молибден (VI), Вольфрам (VI), спектрофотометрія, комплексоутворення, солі 6,7-дигідрокси-4-карбоксил-2-фенілбензопірилію, поверхнево-активні речовини.

COMPLEXATION OF 6,7-DIHYDROXY-4-CARBOXYL-2-PHENYLBENZOPYRYLIUM SALTS WITH MO (VI) AND W (VI) IN AQUEOUS SOLUTIONS AND ORGANIZED MEDIA

K. V. Snihur, O. M. Zhukovetska, O. M. Guzenko, D. V. Snigur

This work is devoted to the study of the features of complexation of Molybdenum (VI) and Tungsten (VI) with some salts (bromide, perchlorate chloride) of 6,7-dihydroxy-4-carboxyl-2-phenylbenzopyrylium (R) in aqueous solutions and organized media based on cationic surfactants. Spectrophotometric methods for complexation studies in solutions were used. It was established that in binary systems one complex with a stoichiometry of M (VI) : R 1 : 2 is formed at pH 2,5 and 3,0, respectively, for Molybdenum (VI) and Tungsten (VI). The molar absorptivity values for Molybdenum (VI) and Tungsten (VI) complexes with R are $3,0 \cdot 10^4$ and $3,1 \cdot 10^4$, respectively. It has been established that when cationic surfactants, namely cetylpyridinium chloride and cetyltrimethylammonium bromide, are introduced into the systems, the formation of ternary complexes with a stoichiometry of 1 : 2 : 2 is observed. It was found that the color develops instantly, and the absorbance of the resulting solutions is unchanged for 2 hours. It is noted that the nature of the anion, which is part of the reagent R, does not significantly change the analytical properties of the proposed analytical forms. The introduction of cationic surfactants results in a shift of the optimal pH for complex formation toward more acidic values. It has been shown that the introduction of cationic surfactants shifts the optimal pH value of complexation to a more acidic region and leads to bathochromic shifts of the absorption bands of the interaction products by 30–40 nm and an increase in the values of the molar absorptivity to $6,4 \cdot 10^4$ and $7,9 \cdot 10^4$ (for W (VI): $6,7 \cdot 10^4$ and $8,1 \cdot 10^4$) for cetylpyridinium chloride and cetyltrimethylammonium bromide, respectively. The identified analytical forms may serve as a foundation for the creation of novel combined spectroscopic techniques for the determination of trace levels of Molybdenum (VI) and Tungsten (VI).

Key words: Molybdenum (VI), Tungsten (VI), spectrophotometry, complexation, 6,7-dihydroxy-4-carboxyl-2-phenylbenzopyrylium salts, surfactants.

Вступ

Одним із важливих завдань хімічного аналізу є контроль вмісту важких металів в об'єктах різного походження. Особливий інтерес становлять полівалентні метали, зокрема вольфрам і молибден. Молибден (VI) і Вольфрам (VI) широко використовуються в легуванні сталей і виробництві функціональних матеріалів. У разі їх високого вмісту у продуктах харчування та питній воді можуть виявляти токсичні властивості. Важливим завданням контролю якості та безпеки речовин і матеріалів, наприклад, сталей та сплавів, харчових продуктів, а також моніторингу стану навколишнього середовища є визначення Молибдену (VI) та Вольфраму (VI). Молибден є есенціальним і важливим мікроелементом, який здатен накопичуватися в рослинах і деяких організмах (Sardesai, 1993; Марцинко та ін., 2023).

У кислому середовищі найбільш реакційноздатними формами цих елементів є катіони молибденілу та вольфрамілу, а також оксоаніони, які можуть утворювати іонні асоціати. Сучасний стан аналітичної хімії Молибдену та Вольфраму узагальнено в роботах (Das et al., 2006; Pyrzynska, 2007).

Запропоновано ефективні методи їх визначення (Ünal & Somer, 2012; Deniz et al., 2017; Divarova et al., 2022; Emam et al., 2023; Nagalakshmi et al., 2024; Peng et al., 2025), зокрема атомно-абсорбційні, вольтамперометричні та мас-спектрометричні, однак ці методи є вартісними та потребують висококваліфікованого обслуговування. Найбільш поширеним методом визначення Молибдену та Вольфраму залишається спектрофотометрія. У роботах продемонстровано можливість визначення іонів Молибдену (VI) після їх міцелярно-екстракційного концен-

трування зі спектрофотометричним (Snigur et al., 2020a) і кольорометричним (Куліченко і Щербіна, 2012) детектуванням.

Загальновідомо, що і натепер у хімічному аналізі особливе місце зберігається за органічними реагентами, які характеризуються широкою сферою застосування, оскільки придатні для визначення іонів металів, їх розділення, концентрування, а також як модифікатори поверхні різних твердих носіїв. Зазвичай Молібден (VI) і Вольфрам (VI) у кислому середовищі взаємодіють з гідроксилвмісними лігандами: гідроксibenзолами, флавоноїдами, триоксифлуоронами й іншими сполуками. Для визначення Молібдену (VI) спектрофотометричним методом запропоновано велику кількість аналітичних реагентів, зокрема: діоксималеїнову кислоту, пірокатехін-3,5-дисульфокислоту, 8-оксихінолін, пірокатехін, 5,7-дибром-8-оксихінолін, а також похідні фенілазопірокатехіну, толуен-3,4-дитіол, 1-нітрозно-2-нафтол, похідні дитіокарбамінової кислоти й інші (Marczenko et al., 2020). У присутності тіоціанату (SCN^-) Молібден (V, VI) утворює оранжево-червону комплексну сполуку в кислому середовищі, а його чутливість можна підвищити рідинно-рідинною екстракцією утвореного комплексу або завдяки утворенню іонних асоціатів з основними барвниками (Marczenko et al., 2020). За спектрофотометричного визначення Молібдену (VI) з толуен-3,4-дитіолом у кислому середовищі спектр поглинання комплексу має максимум за 415 нм. Молярний коефіцієнт поглинання становить $7,5 \cdot 10^4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$, а лінійність закону Бера зберігається в межах концентрацій 0,25–1,25 мкг/мл (Marczenko et al., 2020).

Пошук нових реагентів, моделювання їхніх властивостей, а також цілеспрямований синтез із подальшою можливістю структурної модифікації залишаються актуальними та перспективними напрямками досліджень у сучасній аналітичній хімії. Заслужують на увагу солі 2,4-заміщених похідних 6,7-дигідроксibenзопірилію, які є реакційноздатними сполуками та здатні вступати в окислювально-відновлювальні реакції та утворювати комплекси з іонами низки елементів. Наприклад, похідні 6,7-дигідроксibenзопірилію добре зарекомендували себе як реагенти для спектрофотометричного (зокрема, екстракційно-спектрофотометричного) визначення іонів полівалентних елементів (Чеботарьов та ін., 2021). Представлена робота є логічним продовженням наших

попередніх досліджень, мета якої полягає у спектрофотометричному вивченні комплексоутворення солей 6,7-дигідрокси-2-феніл-4-карбоксібенопірилію (далі – КДХ) з Молібденом (VI) і Вольфрамом (VI) у водних розчинах і в організованих середовищах на основі катіонних поверхнево-активних речовин (далі – кПАР), з'ясуванні хімізму взаємодії і встановленні відповідних хіміко-аналітичних характеристик, обґрунтуванні вибору аналітичних форм для подальшого розроблення методик спектрофотометричного визначення слідових кількостей іонів цих елементів. Дотримання ідентичних умов експерименту для іонів обох металів дозволить оптимізувати їх з більшою достовірністю.

Матеріал і методи

Електронні спектри поглинання записували за допомогою спектрофотометрів “Specord UV VIS” і “Specord 200” в інтервалі довжин хвиль 380–780 нм у кюветах різної товщини світлопоглинаючого шару. Для контролювання рН розчинів застосовували іономір I-160 з комбінованим скляним електродом, який попередньо було калібровано за стандартними рН-буферними розчинами. Спектрометр “Perkin-Elmer FT-IR Spectrometer Frontier” використовувався для реєстрації ІЧ-спектрів у діапазоні $4000\text{--}400 \text{ см}^{-1}$. Спектри ^1H та ^{13}C ЯМР записували для 2%-х розчинів реагенту в $\text{DMSO-}d_6$ з ТМС як внутрішній стандарт із використанням спектрометрів “Varian Gemini 300NMR” (300 МГц) та “Bruker AVANCE DRX 500” (500 МГц).

Реагент КДХ, подібно до інших синтезованих нами похідних 6,7-дигідроксibenзопірилію (Snigur et al., 2020b), одержували конденсацією бензоїлпіровиноградної кислоти з пірогалолом А в концентрованій оцтовій кислоті з додаванням відповідної мінеральної кислоти (хлорної, бромідної або хлоридної). Наважки 1,92 г (0,01 моль) бензоїлпіровиноградної кислоти та 2,52 г (0,01 моль) пірогалолу А розчиняють у 25–30 мл концентрованої оцтової кислоти за нагрівання (70–80 °C) у круглодонній колбі місткістю 50 мл, після охолодження до кімнатної температури додають 3–5 мл мінеральної кислоти (перхлоратної або бромідної) або пропускають струм сухого гідроген хлориду. Колбу оснащують зворотним холодильником і кип'ятять реакційну суміш протягом 30–40 хвилин з використанням бромідної або перхлоратної кислот (2–3 години з використанням хлороводню). Одержану реакційну суміш охолоджують до 20–25 °C, вливають її

у стакан із 250 мл холодної підкисленої води. Осад червоного кольору відфільтровують, декілька разів промивають спочатку льодяною оцтовою кислотою, а потім дізопропіловим етером. Одержаний продукт висушують протягом доби в сушильній шафі за 70 °С. Вихід цільових продуктів коливається в інтервали 54–59%. Чистоту одержаних аналітичних реагентів контролювали тонкошаровою хроматографією, а їхню структуру підтверджували методами ^1H , ^{13}C ЯМР та ІЧ-спектроскопії.

^1H ЯМР (ДМСО- D_6) δ , м.д.: 8,08 (с, 2H); 7,60–7,77 (м, 5H); 6,68 (с, 1H).

^{13}C ЯМР (ДМСО- D_6) δ , м.д.: 166,5; 134,7; 132,0; 129,8; 126,3; 122,1; 104,4; 104,0; 103,1.

ІЧ-спектр, cm^{-1} : 3 355, 3 066, 1 708, 1 641, 1 624, 1 595, 1 528, 1 414, 1 379, 1 339, 1 257, 1 217, 1 195, 1 030, 1 015, 997, 865, 768, 680, 623, 605.

Розчин реагенту КДХ з концентрацією $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л готували розчиненням барвника в етанолі. Вихідні 0,01 моль/л розчини Молібдену (VI) та Вольфраму (VI) готували розчиненням точних наважок молібдату амонію та вольфрамату натрію та стандартизували титриметрично. Робочі $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л розчини кПАР цетилпіридиній хлориду (далі – ЦПСІ) та цетилтриметиламоній броміду (далі – ЦТАБ) виготовляли розчиненням відповідних наважок цих сполук у дистильованій воді. За необхідності виготовлення розчинів з меншими концентраціями їх готували розведенням вихідних розчинів безпосередньо перед роботою. Розчини сульфатної кислоти, натрій гідроксиду, а також універсальний буферний розчин використовували для підтримки необхідного значення рН. У роботі використовували реактиви, кваліфікація яких була не нижче ніж «х. ч.».

Під час вивчення взаємодії в досліджуваних системах водні розчини Молібдену (VI) та Вольфраму (VI) й етанольні розчини КДХ з концентрацією в діапазоні $1 \cdot 10^{-5}$ ÷ $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л змішували в різному мольному співвідношенні в широкому в інтервалі рН 1 ÷ 8. За потреби стабілізації комплексів у розчинах (за відсутності кПАР) до розчинів вводили розчин полівінілового спирту з концентрацією 1%. Під час дослідження впливу кПАР на умови й особливості утворення і хіміко-аналітичні характеристики комплексів Молібдену (VI) та Вольфраму (VI) з КДХ варіювали їх вміст у діапазоні концентрацій $1 \cdot 10^{-5}$ ÷ $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Для вста-

новлення стехіометрії продуктів взаємодії в подвійних (потрійних) системах, значень молярних коефіцієнтів світлопоглинання та величин відповідних констант стійкості використовували класичні спектрофотометричні методи дослідження комплексоутворення в розчинах (Чундак і Барчій, 2019).

Результати та їх обговорення

Для вивчення особливостей взаємодії в досліджуваних подвійних і потрійних системах зареєстровано електронні спектри поглинання розчинів у видимій ділянці спектра в діапазоні довжин хвиль 380–780 нм в широкому інтервалі рН. Раніше було встановлено, що за рН 2,5 реагент КДХ характеризується однією інтенсивною смугою поглинання з максимумом за 440 нм (Чеботарьов та ін., 2021). Виявлено, що комплексоутворення з Молібденом (VI) супроводжується батохромним зсувом смуги поглинання в електронному спектрі до 500 нм. Заміщення протонів карбоксильних груп хелатуючого реагенту КДХ катіонами цетилпіридинію (або цетилтриметиламонію). Це зумовлює підвищення контрастності аналітичного сигналу. Такий ефект також пояснює зростання контрастності реакцій у кислому середовищі, де можливе витіснення протонів із недисоційованих функціональних груп. Варто відзначити, що додавання катіонних поверхнево-активних речовин (ЦП, ЦТАБ) до системи спричиняє батохромне зміщення смуги поглинання комплексів, що формуються в потрійних системах: до 530 нм за використання ЦП, до 535–540 нм у разі застосування ЦТАБ. За комплексоутворення з Вольфраму (VI) спостерігається батохромний зсув смуги поглинання до 505 нм, а за введення в систему ЦП або ЦТАБ також відбуваються батохромні зсуви смуги поглинання до 540 та 545–550 нм у разі використання ЦП та ЦТАБ відповідно. Відмічено, що природа аніона, який входить до складу реагенту КДХ, значуще не змінює хіміко-аналітичні характеристики пропонованих аналітичних форм, тому надалі будуть представлені результати, які одержані за використання перхлорату КДХ. Оскільки взаємодія Молібдену (VI) і Вольфраму (VI) із солями 6,7-дигідрокси-2-феніл-4-карбоксибензопірилію та кПАР є подібною, надалі результати досліджень будуть показані на прикладі комплексоутворення Молібдену (VI). Вплив кислотності середовища на взаємодію в системах Мо (VI) – КДХ та Мо (VI) – КДХ-кПАР представлено на рис. 1.

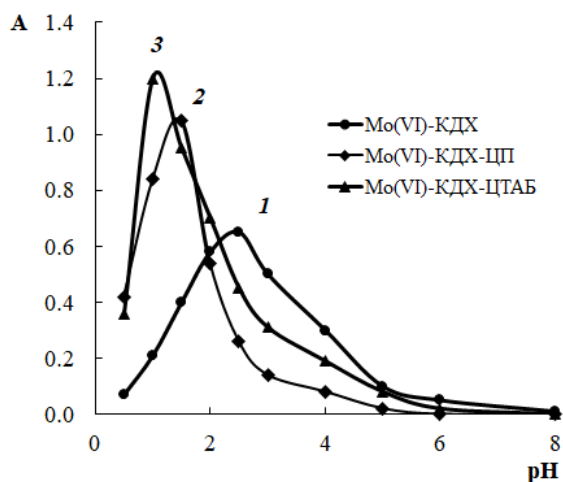


Рис. 1. Вплив рН середовища на комплексоутворення Мо (VI) з КДХ у подвійних системах (крива 1, $\lambda = 500$ нм) і потрійних системах (крива 2, $\lambda = 530$ нм, ЦПСІ; крива 3, $\lambda = 535$ нм, ЦТАБ); $l = 1$ см; $C_{\text{Mo(VI)}} = 2 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $C_{\text{кПАР}} = 2 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $C_{\text{КДХ}} = 1 \cdot 10^{-4}$ моль/л

З рисунка (див. рис. 1) видно, що Молибден (VI) утворює з хелатуючим реагентом у водних розчинах комплекс за рН 2,5. За додавання кПАР спостерігається суттєве зміщення оптимального рН утворення комплексу в більш кислу область, а саме до рН 1 та 1,5 у разі використання ЦП та ЦТАБ відповідно. У разі взаємодії з КДХ Вольфрамом (VI) зміни подібні, зокрема, у подвійних системах максимальний вихід комплексу спостерігається за рН 3, а за

наявності кПАР оптимальне рН взаємодії зсувається до рН 2,5 та 2,0 за використання ЦП та ЦТАБ відповідно. Стехіометрію продуктів взаємодії Молибдену (VI) з хелатуючим реагентом у подвійних (рис. 2) і потрійних (рис. 3) системах встановлювали за оптимальних умов їх утворення із залученням спектрофотометричного варіанту методів молярних відношень і зсуву рівноваги. Аналіз даних, представлених на рисунку 2, свідчить про утворення комплексу в дослідженій бінарній системі з молярним співвідношенням Мо (VI): КДХ = 1:2.

Уведення кПАР у систему іон металу – органічний реагент зазвичай спричиняє зниження рН комплексоутворення, батохромне або гіпсхромне зміщення смуг поглинання, а також зміну молярних коефіцієнтів світлопоглинання. Отже, прищеплення кПАР до органічного реагенту приводить до формування нових аналітичних форм у процесі комплексоутворення з іонами металів. Водночас ефект стабілізації хелатів за участю прищеплених кПАР виступає додатковим чинником підвищення інтенсивності аналітичного сигналу в системі іон металу – реагент – кПАР. Окрім електростатичних, за формування асоціатів важливу роль відіграють гідрофобні взаємодії. Під впливом ентропійного фактору неполярні групи зближуються, «зшиваючись» одна з одною через молекули, що оточують, це сприяє виникненню ван-дер-ваальсових сил між частинками. Ці взаємодії є далекодіючими, оскільки виникають між гідрофобними фрагментами на відстанях, що перевищу-

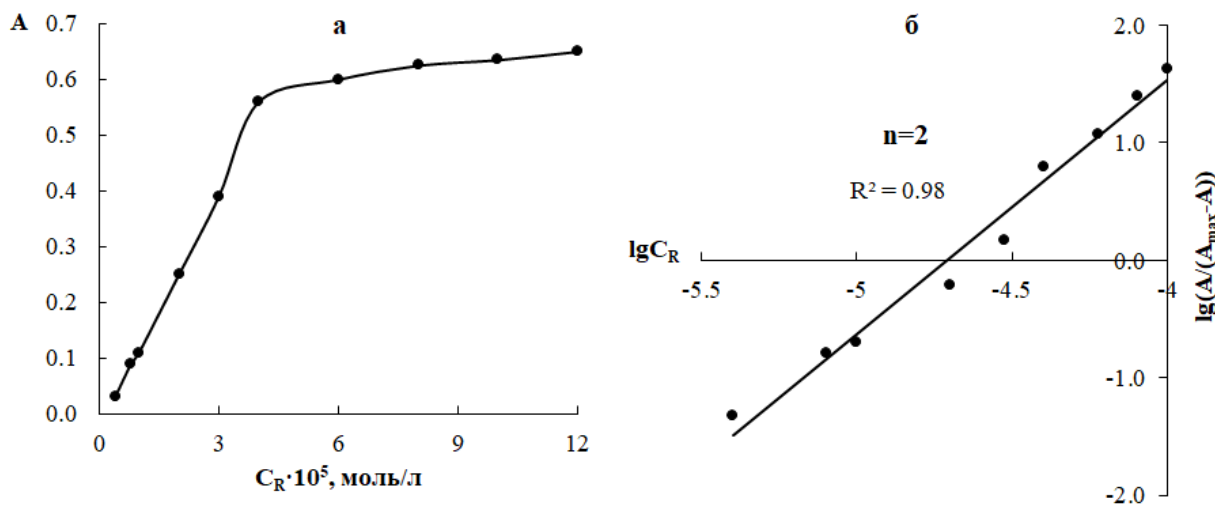


Рис. 2. Встановлення стехіометрії продукту взаємодії в системі Мо (VI) – КДХ методом молярних відношень (а) та зсуву рівноваги (б): рН 2,5; $C_{\text{Mo(VI)}} = 2 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $l = 1$ см

ють суму їхніх ван-дер-ваальсових радіусів. Аналогічним чином було визначено склад комплексів, які утворюються в потрійних системах (див. рис. 3).

Як видно з рисунка (див. рис. 3), за додавання катіонних ПАР у кислому середовищі не відбувається зміни молярного співвідношення компонентів і утворюються комплекси з молярним співвідношенням Мо (VI) : КДХ = 1 : 2. До складу потрійного комплексу входять по два катіони кПАР як у випадку ЦПСІ, так і ЦТАБ, що зумовлено тим, що єдиним центром взаємодії як хелатуючого реагенту КДХ, так і його молібденового комплексу з кПАР є карбоксильні групи. Такі самі висновки є слушними для комплексів Вольфраму (VI). Для встановлення хімізму взаємодії, а саме іонних форм Молібдену (VI) та Вольфраму (VI) і КДХ, використовували метод Назаренка. Установлено, що Молібден (VI) та Вольфрам (VI) входять до складу комплексу у формі катіонів молібденілу та вольфрамілу, а хелатуючий реагент КДХ – у формі ангідрооснови, оскільки

тільки такий варіант взаємодії супроводжується виділенням двох протонів.

Загалом, аналітичні характеристики пропонованих аналітичних форм на основі продуктів взаємодії Молібдену (VI) та Вольфраму (VI) з перхлоратом КДХ і кПАР наведено в таблиці 1.

З наведених у таблиці даних видно, що перехід від подвійних до потрійних систем супроводжується зміщенням оптимального рН комплексоутворення в більш кислу область, а також приблизно двократним зростанням молярного коефіцієнта світлопоглинання. У результаті проведеного аналізу наведених у таблиці даних можна дійти висновку, що доцільно розглядати потрійні комплекси М (VI) – КДХ – кПАР (ЦПСІ або ЦТАБ) як аналітичні форми, які утворюються за рН 1,0–1,5 для Мо (VI) та 2,0–2,5 для W (VI).

Висновки

У результаті проведеного дослідження вивчено особливості комплексоутворення Молібдену (VI) та Вольфраму (VI) з низкою

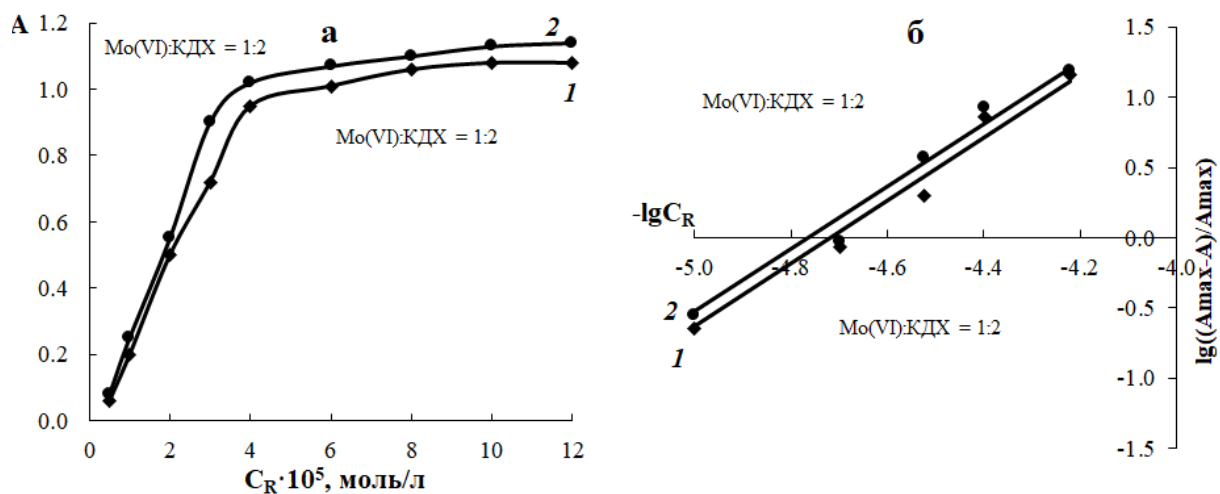


Рис. 3. Визначення співвідношення Мо (VI) : КДХ у потрійних системах Мо (VI) – КДХ – кПАР (крива 1, ЦП; крива 2, ЦТАБ) методом молярних відношень (а) та зсуву рівноваги (б) за рН їх оптимального виходу: $C_{\text{Мо(VI)}} = 2 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $C_{\text{кПАР}} = 2 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $l = 1$ см

Таблиця 1
Аналітичні характеристики комплексів Молібдену (VI) та Вольфраму (VI) з КДХ та кПАР

Система	рН	М (VI) : КДХ : кПАР	lgβ	λ, нм	ε · 10 ⁻⁴
Мо (VI) – КДХ	2,5	1:2	10,1	500	3,0
Мо (VI) – КДХ – ЦП	1,5	1:2:2	13,5	530	6,4
Мо (VI) – КДХ – ЦТАБ	1,0	1:2:2	14,0	535	7,9
W (VI) – КДХ	3,0	1:2	10,2	505	3,1
W (VI) – КДХ – ЦП	2,5	1:2:2	13,4	540	6,7
W (VI) – КДХ – ЦТАБ	2,0	1:2:2	13,8	545	8,1

солей (бромідом, перхлоратом, хлоридом) 6,7-дигідрокси-4-карбоксил-2-фенілбензопірилію (КДХ) у водних розчинах і організованих середовищах на основі катіонних поверхнево-активних речовин. З використанням фотометричних методів дослідження комплексоутворення встановлено, що у водних розчинах утворюється по одному комплексу зі стехіометричним співвідношенням М (VI) : КДХ 1 : 2 за рН 2,5 та 3,0 для Молібдену (VI) та Вольфраму (VI) відповідно. Значення молярних коефіцієнтів світлопоглинання для комплексів Молібдену (VI) та Вольфраму (VI) з КДХ становлять $3,0 \cdot 10^4$ та $3,1 \cdot 10^4$ відповідно. Встановлено, що за введення в системи катіонних поверхнево-активних речовин, цетилпіридиній хлориду та цетилтриметиламоній броміду, спостерігається формування потрійних комплексів зі стехіометрією 1 : 2 : 2. Виявлено, що забарвлення розвивається миттєво, а оптична густина

одержаних розчинів є незмінною протягом 2 годин. Відмічено, що природа аніона, який входить до складу реагенту КДХ, значуще не змінює хіміко-аналітичні характеристики пропонованих аналітичних форм. Показано, що за введення катіонних поверхнево-активних речовин відбувається зсув оптимального значення рН комплексоутворення в більш кислу область, це призводить до батохромних зсувів смуг поглинання продуктів взаємодії на 30–40 нм, збільшення величин молярних коефіцієнтів світлопоглинання до $6,4 \cdot 10^4$ та $7,9 \cdot 10^4$ (для W (VI): $6,7 \cdot 10^4$ та $8,1 \cdot 10^4$) для цетилпіридинію хлориду та цетилтриметиламонію броміду відповідно. Зазначено, що аналітичні форми, отримані в результаті взаємодії Молібдену (VI) та Вольфраму (VI) з КДХ у потрійних системах, можуть слугувати основою для розроблення комбінованих спектроскопічних методик визначення їхніх слідових концентрацій.

Список використаної літератури

- Куліченко С.А., Щербина М.Г. Кольориметричне визначення молібдену в міцелярних екстрактах катіонної ПАВ. *Методи та об'єкти хімічного аналізу*. 2012. Т. 7. № 1. С. 39–44.
- Марцинко О.Е., Сейфуліна І.Й., Кіусе Т.О. Неорганічна хімія. Біоактивність неорганічних сполук : навчальний посібник. Одеса : Олді+, 2023. 330 с.
- Чоботарьов О.М., Топоров С.В., Снігур Д.В., Барбалат Д.О. Похідні 6,7- та 7,8-дигідроксибензопірилію: синтез, властивості та аналітичне застосування : огляд. *Вісник Одеського національного університету. Хімія*. 2021. Т. 26. № 2 (78). С. 73–88. [https://doi.org/10.18524/2304-0947.2021.2\(78\).233829](https://doi.org/10.18524/2304-0947.2021.2(78).233829).
- Чундак С.Ю., Барчій І.Є. Основи хімії комплексних сполук : навчальний посібник. Ужгород : Вид-во УжНУ «Говерла», 2019. 133 с.
- Das A.K., Chakraborty R., Cervera M., De La Guardia M. A review on molybdenum determination in solid geological samples. *Talanta*. 2006. Vol. 71. № 3. P. 987–1000. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2006.07.017>.
- Deniz N., Liv L., Nakiboğlu N. Determination and validation method of molybdenum by adsorptive catalytic stripping voltammetry at lead film electrode. *Journal of Chemical Metrology*. 2017. Vol. 11. № 2. P. 46–54. <https://doi.org/10.25135/jcm.6.17.04.037>.
- Divarova V.V., Saravanska A., Toncheva G., Milcheva N., Delchev V.B., Gavazov K. Spectrophotometric Determination of Molybdenum (VI) as a Ternary Complex with 4-Nitrocatechol and Benzalkonium Chloride. *Molecules*. 2022. Vol. 27. № 4. P. 1217. <https://doi.org/10.3390/molecules27041217>.
- Emam S., Elgoud E.A., Abd-Elhamid A., Aly H. Selective extraction of molybdenum (VI) with novel ionic liquid from nitric acid solution. *Separation Science and Technology*. 2023. Vol. 58. № 12. P. 2123–2137. <https://doi.org/10.1080/01496395.2023.2232099>.
- Marczenko Z., Balcerzak M., Kłoczko, E. Separation, preconcentration and spectrophotometry in inorganic analysis. *Elsevier*. 2000. 521 p. [https://doi.org/10.1016/S0926-4345\(00\)X8001-7](https://doi.org/10.1016/S0926-4345(00)X8001-7).
- Nagalakshmi K., Shyamala P., Khan S.A., Puranam D.H. Cloud Point Extraction Method for Separation and Preconcentration of Molybdenum and Zirconium Using Mixture of Surfactants from Natural Waters and their Determination by Spectrophotometry. *Methods and objects of chemical analysis*. 2024. Vol. 19. № 3. P. 160–166. <https://doi.org/10.17721/moca.2024.160-166>.
- Peng B., Zhong Q., Dong F., Chu G., Yin L., Zhang J., Li J. Determination of Molybdenum Isotopic Compositions in Eleven Geological Reference Materials by MC-ICP-MS Combined with BPHA Resin Separation. *Atomic Spectroscopy*. 2025. Vol. 46. № 2. P. 209–220. <https://doi.org/10.46770/as.2024.287>.

Pyrzynska K. Determination of molybdenum in environmental samples. *Analytica Chimica Acta*. 2007. Vol. 590. № 1. P. 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2007.03.013>.

Sardesai V.M. Molybdenum: an essential trace element. *Nutrition in Clinical Practice*. 1993. Vol. 8. № 6. P. 277–281. <https://doi.org/10.1177/0115426593008006277>.

Snigur D., Barbalat D., Chebotarev A., Synievyd A., Bevziuk K. A rapid cloud point extraction of Molybdenum (VI) with 6,7-dihydroxy-2,4-diphenylbenzopyrylium perchlorate prior to its spectrophotometric determination. *Chemical Papers*. 2020. Vol. 75. № 5. P. 1823–1830. <https://doi.org/10.1007/s11696-020-01436-3>.

Snigur D., Barbalat D., Fizer M., Chebotarev A., Shishkina S. Synthesis and properties of 6,7-dihydroxybenzopyrylium perchlorate halogen derivatives: X-ray, spectroscopic and theoretical studies. *Tetrahedron*. 2020b. Vol. 76. № 42. Art. 131514. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2020.131514>.

Ünal Ü., Somer G. A new and very simple procedure for the differential pulse polarographic determination of ultra trace quantities of tungsten using catalytic hydrogen wave and application to tobacco sample. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 2012. Vol. 687. P. 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2012.09.037>.

References

Kulichenko, S.A., & Shherbyna, M.G. (2012). Kol'orometrychne vyznachennja molibdenu v micel'jarnyh ekstraktah kationnoi' PAR [Colorimetric determination of molybdenum in micellar extracts of cationic surfactant.] *Metody ta ob'jekty him. analizu [Methods and objects of chemical analysis]*, 7 (1), 39–44 [in Ukrainian].

Marcynko, O.E., Sejfullina, I.J., & Kiose, T.O. (2023). *Neorganichna himija. Bioaktyvnist' neorganichnyh spoluk: navchal'nyj posibnyk [Inorganic chemistry. Bioactivity of inorganic compounds: a textbook]*. Odesa: Oldi+. 330 s. [in Ukrainian].

Chebotarev, A.N., Toporov, S.V., Snigur, D.V., & Barbalat, D.A. (2021). Pohidni 6,7- ta 7,8-dygidroksybenzopyryliju: syntezy, vlastyvyty ta analytychne zastosuvannja (ogljad) [6,7- and 7,8-dihydroxybenzopyrylium derivatives: synthesis, properties and analytical application (Review)]. *Visnyk ONU. Himija. [Odesa National University Herald Chemistry]*, 26 (2 (78)), 73–88. [https://doi.org/10.18524/2304-0947.2021.2\(78\).233829](https://doi.org/10.18524/2304-0947.2021.2(78).233829) [in Ukrainian].

Chundak, S.Ju., & Barchij, I.Je. (2019). *Osnovy himii' kompleksnyh spoluk: navchal'nyj posibnyk [Fundamentals of Chemistry of Complex Compounds: A Textbook]*. Uzhgorod: Vyd-vo UzhNU "Goverla", 133 s. [in Ukrainian].

Das, A.K., Chakraborty, R., Cervera, M., & De La Guardia, M. (2006). A review on molybdenum determination in solid geological samples. *Talanta*, 71 (3), 987–1000. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2006.07.017> [in English].

Deniz, N., Liv, L., & Nakiboğlu, N. (2017). Determination and validation method of molybdenum by adsorptive catalytic stripping voltammetry at lead film electrode. *Journal of Chemical Metrology*, 11 (2), 46–54. <https://doi.org/10.25135/jcm.6.17.04.037> [in English].

Divarova, V.V., Saravanska, A., Toncheva, G., Milcheva, N., Delchev, V. B., & Gavazov, K. (2022). Spectrophotometric Determination of Molybdenum (VI) as a Ternary Complex with 4-Nitrocatechol and Benzalkonium Chloride. *Molecules*, 27 (4), 1217. <https://doi.org/10.3390/molecules27041217> [in English].

Emam, S., Elgoud, E.A., Abd-Elhamid, A., & Aly, H. (2023). Selective extraction of molybdenum (VI) with novel ionic liquid from nitric acid solution. *Separation Science and Technology*, 58 (12), 2123–2137. <https://doi.org/10.1080/01496395.2023.2232099> [in English].

Marczenko, Z., Balcerzak, M., & Kłoczko, E. (2000). Separation, preconcentration and spectrophotometry in inorganic analysis. In *Analytical spectroscopy library*. [https://doi.org/10.1016/s0926-4345\(00\)x8001-7](https://doi.org/10.1016/s0926-4345(00)x8001-7) [in English].

Nagalakshmi, K., Shyamala, P., Khan, S.A., & Puranam, D.H. (2024). Cloud Point Extraction Method for Separation and Preconcentration of Molybdenum and Zirconium Using Mixture of Surfactants from Natural Waters and their Determination by Spectrophotometry. *Methods and objects of chemical analysis*, 19 (3), 160–166. <https://doi.org/10.17721/moca.2024.160-166> [in English].

Peng, B., Zhong, Q., Dong, F., Chu, G., Yin, L., Zhang, J., & Li, J. (2025). Determination of Molybdenum Isotopic Compositions in Eleven Geological Reference Materials by MC-ICP-MS Combined with BPHA Resin Separation. *Atomic Spectroscopy*, 46 (02), 209–220. <https://doi.org/10.46770/as.2024.287> [in English].

Pyrzynska, K. (2007). Determination of molybdenum in environmental samples. *Analytica Chimica Acta*, 590 (1), 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2007.03.013> [in English].

Sardesai, V.M. (1993). Molybdenum: an essential trace element. *Nutrition in Clinical Practice*, 8 (6), 277–281. <https://doi.org/10.1177/0115426593008006277> [in English].

Snigur, D., Barbalat, D., Chebotarev, A., Synievyd, A., & Bevziuk, K. (2020a). A rapid cloud point extraction of Molybdenum (VI) with 6,7-dihydroxy-2,4-diphenylbenzopyrylium perchlorate prior to its spectrophotometric determination. *Chemical Papers*, 75 (5), 1823–1830. <https://doi.org/10.1007/s11696-020-01436-3> [in English].

Snigur, D., Barbalat, D., Fizer, M., Chebotarev, A., & Shishkina, S. (2020b). Synthesis and properties of 6,7-dihydroxybenzopyrylium perchlorate halogen derivatives: X-ray, spectroscopic and theoretical studies. *Tetrahedron*, 76 (42), 131514. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2020.131514> [in English].

Ünal, Ü., & Somer, G. (2012). A new and very simple procedure for the differential pulse polarographic determination of ultra trace quantities of tungsten using catalytic hydrogen wave and application to tobacco sample. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 687, 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2012.09.037> [in English].

Отримано: 22.07.2025

Прийнято: 26.08.2025

Опубліковано: 17.10.2025





АГРОНОМІЯ

УДК 633.15: 631.816.11: 631.89
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.22>

ВПЛИВ МІКРОДОБРІВ ТА РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ НА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ЗЕЛЕНОЇ МАСИ КУКУРУДЗИ

П. А. Басюк¹, М. Б. Грабовський²

Визначення якісних показників зеленої маси кукурудзи дозволяє об'єктивно оцінити її поживну та енергетичну цінність для оптимізації раціонів годівлі тварин та є важливим критерієм для оцінювання якості сировини її придатності до силосування та можливих ферментаційних процесів під час зберігання. Метою дослідження було визначення впливу мікродобрив та регуляторів росту рослин на хімічний склад, енергетичну цінність і придатність зеленої маси гібридів кукурудзи до силосування. Застосування мікродобрив і регуляторів росту рослин впливає на вміст сирого протеїну, сирової клітковини, целюлози та крохмалю в зеленій масі кукурудзи. Не відзначено достовірного впливу мікродобрив та регуляторів росту рослин на вміст сирого жиру та відсутній їх вплив на вміст сирової золи. Встановлено високий позитивний зв'язок між вмістом сирого протеїну та крохмалю ($r=0,98$), сирого протеїну та сирого жиру ($r = 0,97$), сирого протеїну і целюлози ($r=0,96$), сирого жиру з вмістом крохмалю і целюлози ($r=0,98$). Застосування мікродобрив і регуляторів росту рослин сприяло помірно підвищенню вмісту оцтової кислоти та більш активному накопиченню молочної кислоти в зеленій масі кукурудзи. У гібридів Гендальф та Інтелігенс найвищі значення валової та обмінної енергії й нетто-енергії лактації (NEL) отримано на третьому і четвертому варіантах досліді – 18,79–19,09 МДж/кг, 10,55–10,89 МДж/кг і 6,33–6,54 МДж/кг. При цьому вміст кормових одиниць і енергетичних кормових одиниць зростає лише на 0,01–0,02, порівняно з контролем. За енергетичними характеристиками гібрид Інтелігенс суттєво переважає Гендальф. Крайню придатність зеленої маси кукурудзи до силосування за вмістом цукру, буферною ємністю та відношенням цукру до буферної ємності має гібрид Гендальф. У гібрида Інтелігенс застосування мікродобрив і регуляторів росту забезпечило високий вміст цукру, однак співвідношення з буферною ємністю є низьким, що вимагає більш ретельного контролю ферментаційного процесу під час заготівлі силосу.

Ключові слова: гібрид, хімічний склад, валова енергія, обмінна енергія, нетто-енергія лактації (NEL), кормові одиниці, вміст цукру.

¹ здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти спеціальності Н1 Агрономія (Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква)
e-mail: pavel.basyk@gmail.com
ORCID: 0000-0000-0547-0854

² доктор сільськогосподарських наук, професор,
професор кафедри рослинництва та цифрових технологій в агрономії
(Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква)
e-mail: nikgr1977@gmail.com
ORCID: 0000-0002-8494-7896

THE INFLUENCE OF MICRONUTRIENT FERTILISERS AND GROWTH REGULATORS ON THE QUALITY PARAMETERS OF CORN GREEN BIOMASS

P. L. Basiuk, M. B. Grabovskyi

Determining the quality parameters of corn green biomass allows for an objective assessment of its nutritional and energy value for optimising animal feeding rations. It also serves as an important criterion for evaluating the quality of raw material, its suitability for ensiling, and the potential fermentation processes during storage. The aim of this study was to assess the influence of micronutrient fertilisers and plant growth regulators on the chemical composition, energy value, and ensiling suitability of corn hybrids' green biomass. The application of micronutrient fertilisers and plant growth regulators affected the content of crude protein, crude fibre, cellulose, and starch in the corn green biomass. No significant impact was observed on the crude fat content, and no effect was found on the crude ash content. A strong positive correlation was established between crude protein and starch content ($r = 0.98$), crude protein and crude fat ($r = 0.97$), crude protein and cellulose ($r = 0.96$), as well as between crude fat and both starch and cellulose content ($r = 0.98$). The use of micronutrient fertilisers and plant growth regulators moderately increased acetic acid content and more significantly stimulated lactic acid accumulation in the corn green biomass. For the hybrids Gendalf and Intelligence, the highest values of gross energy, metabolizable energy, and net energy for lactation (NEL) were recorded in the third and fourth experimental variants – 18.79–19.09 MJ/kg, 10.55–10.89 MJ/kg, and 6.33–6.54 MJ/kg, respectively. At the same time, the content of feed units and energy feed units increased only slightly by 0.01–0.02 compared to the control. In terms of energy characteristics, the Intelligence hybrid significantly outperformed Gendalf. However, Gendalf showed better suitability of green biomass for ensiling based on sugar content, buffering capacity, and sugar-to-buffering-capacity ratio. While the use of micronutrient fertilisers and growth regulators in the Intelligence hybrid ensured a high sugar content, the sugar-to-buffering-capacity ratio was low, requiring more precise control of the fermentation process during silage preparation.

Key words: hybrid, chemical composition, gross energy, metabolizable energy, net energy for lactation (NEL), feed units, sugar content.

Вступ

Світові площі кукурудзи (*Zea mays* L.) (на зерно та силос) становлять 197–210 млн га, особливо збільшившись у країнах Африки, Азії та Латинській Америці (FAOStat, 2021). Ця важлива продовольча культура в цих країнах забезпечує понад 20% продовольства для людей (Shiferaw et al., 2011). Порівняно з пшеницею та рисом кукурудза є більш універсальною й багатопільовою культурою. У розвинених країнах вона переважно використовується як кормова культура для худоби, а також відіграє важливу роль як промислова та енергетична сировина. Із розвитком економіки, зокрема зростанням доходів і урбанізацією, споживання продуктів тваринного походження прискорюється, що стимулює попит на кукурудзу як кормову культуру (Erenstein, 2010). Таким чином, кукурудза відіграє різноманітну та динамічну роль у глобальних агропродовольчих системах та продовольчій безпеці (Grote et al., 2021; Poole et al., 2021; Ranum et al., 2014).

Кукурудзяний силос є основним джерелом корму для жуйних тварин у регіонах, де кукурудза добре адаптована. Це високоенергетичний, малопротеїновий корм, який зазвичай використовується для вирощу-

вання та відгодівлі м'ясної худоби, як додаткове джерело енергії для корів та телят, для вирощування молочних телиць, а також для лактуючих молочних корів і досить часто поєднується з високопротеїновими кормами, як-от люцерна. Заготівля та оброблення кукурудзяного силосу є високо механізованими, що дозволяє зменшити витрати на оплату праці, адже його збирають один раз на рік, на відміну від багаторічних кормів, які потребують кількох укосів (Allen et al., 2003). Кукурудза має високу врожайність за різних екологічних умов (Khan et al., 2015). Однак поживна якість цього корму залежить від багатьох факторів, зокрема таких, як генотип, густина рослин, умови росту, період збирання та вологість (Mandić et al., 2018). Збільшення продуктивності кормів у сухій речовині без зниження якості є визначальним фактором ефективного виробництва молока (Zaragoza et al., 2019).

Широке використання кукурудзи для виготовлення силосу зумовлене передусім її хімічним складом, який відповідає вимогам до виробництва якісного силосу. Силос кукурудзи має низьку буферну здатність і достатній рівень розчинних вуглеводів, що забезпечує збереження цього корму з високою якістю тривалий період (Araújo et al.,

2012; Грабовський та ін., 2020). Широке використання кукурудзяного силосу фермерами зумовлене низкою факторів, зокрема нижчими витратами на збирання врожаю, зменшенням виробничих ризиків, підвищеною врожайністю та гнучкістю у виборі строків збирання (Allen et al., 2003).

Виробники кукурудзи на силос, які прагнуть підвищити поживну цінність кормів, останнім часом впроваджують сучасні технологічні досягнення. Це охоплює як збір даних про врожайність і поживні характеристики зеленої маси, так і вдосконалення процесів та обладнання, що дає змогу виробляти силос із цілої рослини або окремих її фракцій (наприклад, подрібнення, сноплаж, топлаж) (Ferraretto et al., 2018).

Незважаючи на досить широке поширення і значення кукурудзи, існує потреба в подальших дослідженнях для визначення ролі кукурудзи в забезпеченні продовольчої безпеки, а також для сталого посилення виробництва її як кормової культури (Erenstein et al., 2022).

Метою дослідження є визначення впливу мікродобрив та регуляторів росту рослин на хімічний склад, енергетичну цінність і придатність зеленої маси гібридів кукурудзи до силосування.

Матеріал і методи

Дослідження проводилися у 2023–2024 рр. у СФГ «Чайка-2» Броварського району Київської області за такою схемою: Фактор А. Гібриди кукурудзи. 1. Гендальф (ФАО 250) 2. Інтелігенс (ФАО 380). Фактор В. Мікродобрива та регулятори росту рослин. 1. Контроль (обприскування водою); 2. Радікс (1 л/га) + Біогумат (1 л/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи, Енерджі (1 л/га) + Біогумат (1 л/га) + Цинк (1 л/га) у фазі 6–8 листків кукурудзи; 3. Радікс (1 л/га) + Біогумат (1 л/га) + Фотосинтез (1 л/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи, Енерджі (1 л/га) + Лінамін (1 л/га) + Цинк (1 л/га) у фазі 6–8 листків кукурудзи; 4. Радікс (1 л/га) + Лінамін (1 л/га) + Турбоазот (1 л/га) + Біогумат (0,5 л/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи; Енерджі (1 л/га) + Фотосинтез (1 л/га) + Цинк (1 л/га) + Біогумат (0,5 л/га) у фазі 6–8 листків кукурудзи. Розміщення варіантів у досліді – систематичне послідовне. Повторність досліді – чотириразова. Посівна площа ділянки – 30 м², облікова – 25,2 м². Дослідження проводили згідно з методичними рекомендаціями (Лебідь, 2008; Мойсейченко і Єщенко, 1994).

Відбір зразків кукурудзи для визначення хімічного складу проводили перед збиранням у фазу воскової стиглості зерна (ВВСН 85).

Визначення хімічних показників якості зеленої маси гібридів кукурудзи проводили в лабораторії «Eurofins Agro» (м. Київ) (Дехтяр та ін., 2003). Визначення вмісту сирого протеїну проводилося за методикою К'ельдаля (ДСТУ ISO 6492–2003, 2003), сирого жиру (ДСТУ ISO 6492–2003, 2003); визначення сирої клітковини (ДСТУ ISO 6865:2004, 2006); сирої золи (ДСТУ ISO 5984:2004, 2005); вмісту крохмалю (ДСТУ 46.045:2003, 2003).

Валову енергію сухої речовини зеленої маси кукурудзи визначали за формулою (МДж/кг) (Дехтяр, 2014):

$$BE = SP \times 23,9 + SJ \times 39,8 + BER \times 17,2 + SK \times 17,2,$$

де СП – вміст сирого протеїну

СЖ – вміст сирого жиру

BER – безазотисті екстрактивні речовини

СК – вміст сирої клітковини.

Обмінну енергію сухої речовини зеленої маси кукурудзи визначали за вмістом сирих поживних речовин за рівнянням Аксельсона (МДж/кг) (Костенко та ін., 2008):

$$OE = 0,73 \times BE \times (1 - K \times 1,05),$$

де К – кількість клітковини в 1 кг сухої речовини, кг;

0,73 – коефіцієнт обмінності;

1,05 – коефіцієнт депресивної дії клітковини.

Оцінювання енергетичної та протеїнової поживності кормів у системі NEL передбачає, що 57–60% обмінної енергії використається для продукції молока. Знаючи кількість обмінної енергії, можна розрахувати значення NEL за формулою (МДж/кг):

$$NEL = 0,6 \times OE$$

За 1 енергетичну кормову одиницю (ЕКО) прийнято вважати вміст у кормі 10 000 кДж або 10 МДж обмінної енергії. Поживність об'ємистих кормів для жуйних тварин в ЕКО за обмінною енергією вище, ніж у вівсяних кормових одиницях, а концентрованих кормів і коренебульбоплодів – вище для свиней (Дехтяр, 2014).

Агротехніка вирощування кукурудзи на силос була загальноприйнятою для умов Лісостепу України, крім факторів, що були поставлені на вивчення. Сівбу гібридів кукурудзи проводили у 3-й декаді квітня за температури ґрунту на глибині загортання насіння 8–10 °С. Перед сівбою на всіх варіантах досліді вносили N₉₀P₆₀K₆₀ (аміачна селітра + діамофоска). Мікродобрива та регулятори росту рослин застосовували шляхом позакореневих підживлень рослин

кукурудзи у фазі 3–5 (ВВСН 13–16) і 6–8 листків (ВВСН 17–18).

Результати

Результатами проведених лабораторних аналізів встановлено, що вміст сирого протеїну в зеленій масі гібридів кукурудзи коливався залежно від біологічних особливостей гібридів і застосування мікродобрив та регуляторів росту рослин. У гібридів Гендальф і Інтелігенс максимальний вміст сирого протеїну (7,68 і 9,23%) спостерігався на третьому варіанті досліду (Радікс (1 л/га) + Біогумат (1 л/га) + Фотосинтез (1 л/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи, Енерджі (1 л/га) + Лінамін (1 л/га) + Цинк (1 л/га) у фазі 6–8 листків кукурудзи) (табл. 1). Приріст до контролю становив 0,41 і 0,59%, що перевищувало величину $НІР_{05}$ для фактора В (0,06%).

У досліджуваних гібридів у разі використання позакореневих підживлень вміст сирого жиру збільшився на 0,04–0,13 і 0,05–0,10%, відносно контролю. Найвищі значення цього показника (2,36 і 2,54%)

отримано на четвертому варіанті (Радікс (1 л/га) + Лінамін (1 л/га) + Турбоазот (1 л/га) + Біогумат (0,5 л/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи; Енерджі (1 л/га) + Фотосинтез (1 л/га) + Цинк (1 л/га) + Біогумат (0,5 л/га) у фазі 6–8 листків кукурудзи), відповідно, у гібридів Гендальф і Інтелігенс. При цьому достовірної різниці між варіантами із застосуванням мікродобрив і регуляторів росту не відмічено ($НІР_{05}=0,06$). Невелике підвищення вмісту жиру в зеленій масі кукурудзи зумовлене активізацією ліпідного обміну під впливом мікроелементів (цинк, мідь) і регуляторів росту, які стимулюють синтез жирних кислот і формування клітинних мембран.

Вміст сирової клітковини в гібридів Гендальф і Інтелігенс на контрольному варіанті становив 24,78 і 23,92% та зростав у разі використання мікродобрив та регуляторів росту рослин на 0,36–0,70%. Проте не спостерігалось достовірної різниці між 2–4 варіантами досліду ($НІР_{05}=0,12$). Але встановлено загальну тенденцію до

Таблиця 1

Хімічний склад зеленої маси гібридів кукурудзи у фазу воскової стиглості зерна (середнє за 2023–2024 рр.), % абсолютно сухої речовини

Гібрид (А)	Мікродобрива та регулятори росту рослин (В)*	Сирий протеїн	Сирий жир	Сира клітковина	Сира зола	Крохмаль	Целюлоза
Гендальф	1	7,27	2,23	24,78	4,56	33,21	27,33
	2	7,39	2,27	25,44	4,51	33,78	27,75
	3	7,68	2,32	25,47	4,62	34,20	27,86
	4	7,57	2,36	25,26	4,60	34,11	27,98
Інтелігенс	1	8,64	2,44	23,92	4,42	34,92	28,34
	2	8,97	2,49	24,48	4,50	35,67	28,87
	3	9,23	2,51	24,62	4,48	35,88	29,06
	4	9,08	2,54	24,51	4,53	35,71	29,23
$НІР_{05}$, для	А	0,15	0,08	0,21	0,07	0,24	0,18
	В	0,06	0,06	0,12	0,06	0,09	0,07
	АВ	0,23	0,15	0,35	0,15	0,34	0,25

*Примітка. Тут і далі в таблицях 1. Контроль (обприскування водою) 2. Радікс (1 л/га) + Біогумат (1 л/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи, Енерджі (1 л/га) + Біогумат (1 л/га) + Цинк (1 л/га) у фазі 6–8 листків кукурудзи 3. Радікс (1 л/га) + Біогумат (1 л/га) + Фотосинтез (1 л/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи, Енерджі (1 л/га) + Лінамін (1 л/га) + Цинк (1 л/га) у фазі 6–8 листків кукурудзи 4. Радікс (1 л/га) + Лінамін (1 л/га) + Турбоазот (1 л/га) + Біогумат (0,5 л/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи; Енерджі (1 л/га) + Фотосинтез (1 л/га) + Цинк (1 л/га) + Біогумат (0,5 л/га) у фазі 6–8 листків кукурудзи

підвищення утворення клітковини під впливом мікродобрив і регуляторів росту, що впливає на динаміку наростання вегетативної маси та формування більш щільної структури стебел.

Не відмічено впливу мікродобрив та регуляторів росту рослин на вміст сирової золи в зеленій масі кукурудзи. У гібрида Гендальф показник коливався від 4,51% (контроль) до 4,62% (третій варіант досліду), а в Інтелігенс – від 4,42% (контроль) до 4,53% (четвертий варіант досліду).

Більш суттєвим був вплив позакореневих підживлень мікродобривами та регуляторами росту рослин на вміст крохмалю. Так, у гібридів Гендальф і Інтелігенс максимальні значення цього показника (34,20 і 35,88%) отримані на третьому варіанті досліду. Загалом, збільшення вмісту крохмалю в зеленій масі кукурудзи становило 0,57–0,99% порівняно з контролем, що свідчить про посилення синтезу вуглеводів і накопичення запасних речовин у фазу воскової стиглості зерна за проведення позакореневих підживлень.

Найвищий вміст целюлози у гібридів Гендальф і Інтелігенс отримано на четвертому варіанті досліду (27,98 і 29,23%), що на 0,65 і 0,89% більше порівняно з контролем. Збільшення вмісту целюлози в зеленій масі кукурудзи під впливом мікродобрив та регуляторів росту пояснюється тим, що цинк і бор активують ферменти, відповідальні за біосинтез клітинної стінки, сприяючи нагромадженню целюлозних компонентів у стеблах і листках кукурудзи.

Між вмістом поживних речовин у зеленій масі кукурудзи встановлено тісні статистичні взаємозв'язки. Найтісніший позитивний взаємозв'язок виявлено між вмістом сирового протеїну та крохмалю ($r = 0,98$), що вказує на синхронне накопичення азотних і вуглеводних сполук (табл. 2).

Подібна тенденція спостерігається і між вмістом сирового протеїну та сирового жиру ($r = 0,97$), а також між вмістом сирового протеїну і целюлози ($r = 0,96$). Вміст сирового

жиру також демонструє високу позитивну кореляцію з вмістом крохмалю і целюлози ($r = 0,98$), що свідчить про загальну інтенсифікацію енергетичних процесів у клітинах рослин. Натомість спостерігається негативний зв'язок між вмістом сирового жиру і клітковини ($r = -0,60$). Вміст сирової клітковини має негативний обернено пропорційний зв'язок із вмістом сирового протеїну ($r = -0,70$) і вмістом крохмалю ($r = -0,57$), що свідчить про зворотну динаміку між накопиченням запасних і структурних сполук.

Вміст оцтової кислоти в зеленій масі кукурудзи в гібрида Гендальф коливалася в межах 16,0–17,2 г/кг, з максимальним значенням на четвертому варіанті, а в гібрида Інтелігенс – від 18,2 до 19,6 г/кг із найвищим показником у третьому варіанті досліду. Достовірного впливу досліджуваних мікродобрив та регуляторів росту на цей показник не виявлено, і вміст оцтової кислоти головно зумовлювався генетичними особливостями гібриду (рис. 1).

Вміст молочної кислоти становив у гібридів Гендальф та Інтелігенс 68,5–71,4 г/кг і 70,5–73,1 г/кг, що свідчить про високу ферментативну якість зеленої маси кукурудзи. У разі застосування мікродобрив і регуляторів росту не відмічено зміни вмісту молочної кислоти, порівняно з контролем.

Важливим показником рослинних кормів є їх енергетична цінність, яка оцінюється за вмістом валової та обмінної енергії, нетто-енергії лактації (NEL), кількістю кормових одиниць (КО) та енергетичних кормових одиниць (ЕКО). На основі аналізу отриманих даних встановлено, що енергетична цінність зеленої маси кукурудзи залежала як від досліджуваних гібридів, так і проведення позакореневих підживлень мікродобривами і регуляторами росту (табл. 3). У гібридів Гендальф і Інтелігенс показники валової енергії мали мінімальні значення на контролі (18,58 і 18,85 МДж/кг), досягаючи максимуму на четвертому варіанті досліду (18,84 і 19,14 МДж/кг). Зростання валової енергії зумовлено дією мікродобрив

Таблиця 2

Кореляційні залежності між вмістом поживних речовин у зеленій масі кукурудзи

Показники	Сирий жир	Сира клітковина	Сира зола	Крохмаль	Целюлоза
Сирий протеїн	0,97	-0,70	-0,60	0,98	0,96
Сирий жир	-	-0,60	-0,47	0,98	0,98
Сира клітковина	-	-	0,86	-0,57	-0,53
Сира зола	-	-	-	-0,49	-0,44
Крохмаль	-	-	-	-	0,98

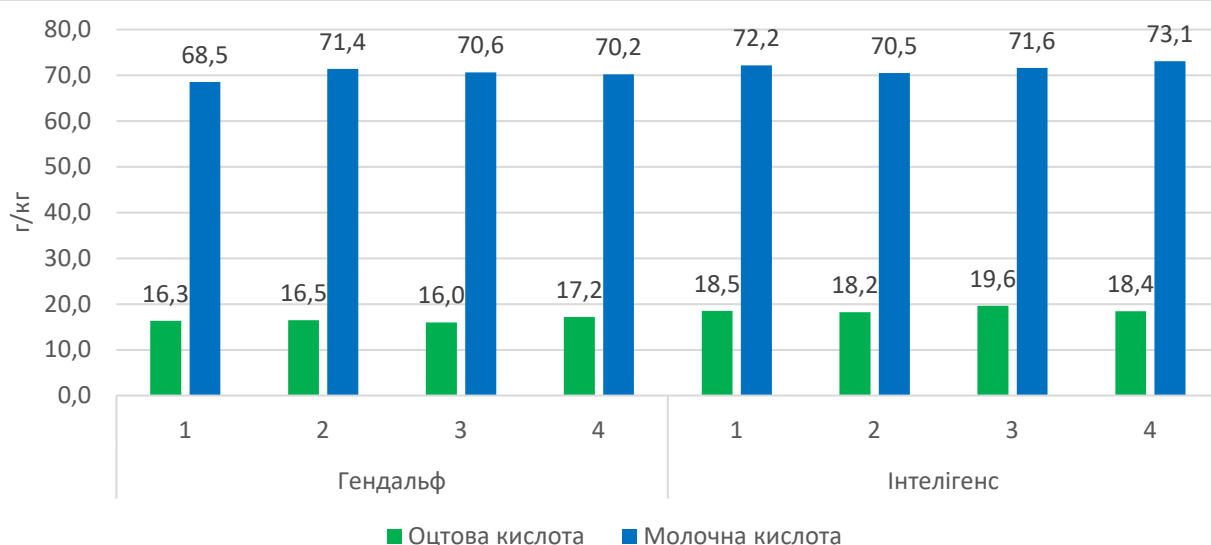


Рис. 1. Вміст оцтової і масляної кислоти в зеленій масі кукурудзи (середнє за 2023–2024 рр.), г/кг

і регуляторів росту, які активізують фотосинтетичну активність рослин, підвищують накопичення вуглеводів і сприяють інтенсивнішому засвоєнню поживних речовин.

У кормовиробництві, крім визначення вмісту валової енергії, важливе значення має оцінювання обмінної енергії – частини загальної енергії корму, яка фізіологічно засвоюється організмом тварини і використовується для підтримання життєвих функцій, росту та відтворення. Для більш точної характеристики енергетичної поживності корму доцільно виражати її на 1 кг сухої речовини, оскільки волога, що міститься в рослинницькій продукції, не має енергетичної цінності для тварини (Сатановська, 2013).

У гібриду Гендальф обмінна енергія була в межах від 10,38 до 10,57 МДж/кг, а у Інтелігенс – від 10,70 до 10,89 МДж/кг. Під час використання мікродобрив і регуляторів росту відмічено зростання обмінної енергії на 0,06–0,20 МДж/кг, порівняно з контролем. Особливо ефективними в підвищенні обмінної енергії виявилися варіанти досліду, які включали препарат Енерджі (1 л/га), що активує ферменти обміну речовин, та препарат Біогумат (0,5 л/га), який стимулює засвоєння азоту.

Показник обмінної енергії зеленої маси силосних і силосно-зернових гібридів кукурудзи майже однаковий, незважаючи на нижчий вміст білка в силосних гібридах. Їх кормова та біологічна цінність вища, зокрема завдяки підвищеному вмісту легко

гідролізованих вуглеводів – крохмалю та цукрів. Структурні вуглеводи в цих гібридах також перерозподілені: більше геміцелюози і менше целюози, порівняно із силосними зерновими (Chornolata et al, 2025).

Однією із сучасних систем енергетичного і білкового оцінювання якості корму, а також потреби дійних корів в енергії та протеїні є система NEL (у перекладі з німецької Netto Energie Lactation – нетто енергія лактації). Дана система визначає ту частину валової енергії (ВЕ) корму, яку корови використовують на виробництво молока і яка може бути відкладена у вигляді запасу жиру. Кількість NEL у кормі залежить від вмісту в ньому обмінної енергії, а також від ступеня її використання (Дехтяр, 2014).

У гібридів Гендальф і Інтелігенс значення NEL на контролі становили 6,23 і 6,42 МДж/кг та підвищувались до 6,31–6,34 МДж/кг і 6,45–6,54 МДж/кг за проведення поза-коренових підживлень. Зростання цього показника зумовлено впливом регуляторів росту на формування оптимального вуглеводно-протеїнового балансу і зменшення частки неперетравної клітковини. Між варіантами із застосуванням мікродобрив і регуляторів росту різниці за нетто-енергією лактації не відмічено.

Застосування таких препаратів, як Лінамін, Турбоазот, Біогумат, забезпечує не лише зростання урожайності зеленої маси кукурудзи, але й підвищення вмісту сухої речовини, що має безпосередній вплив на кількість кормових одиниць і енергетичних

Таблиця 3

Енергетична цінність зеленої маси гібридів кукурудзи у фазу воскової стиглості зерна (середнє за 2023–2024 рр.), на 1 кг сухої речовини

Гібрид	Мікродобрива та регулятори росту рослин	Валова енергія, МДж	Обмінна енергія, МДж	NEI, МДж	Кормових одиниць (КО)	Енергетичних кормових одиниць (ЕКО)
Гендальф	1	18,58	10,38	6,23	1,10	1,04
	2	18,69	10,52	6,31	1,12	1,05
	3	18,84	10,57	6,34	1,12	1,06
	4	18,79	10,55	6,33	1,12	1,05
Інтелігенс	1	18,85	10,70	6,42	1,14	1,07
	2	19,01	10,76	6,45	1,14	1,08
	3	19,14	10,89	6,53	1,16	1,09
	4	19,09	10,89	6,54	1,16	1,09

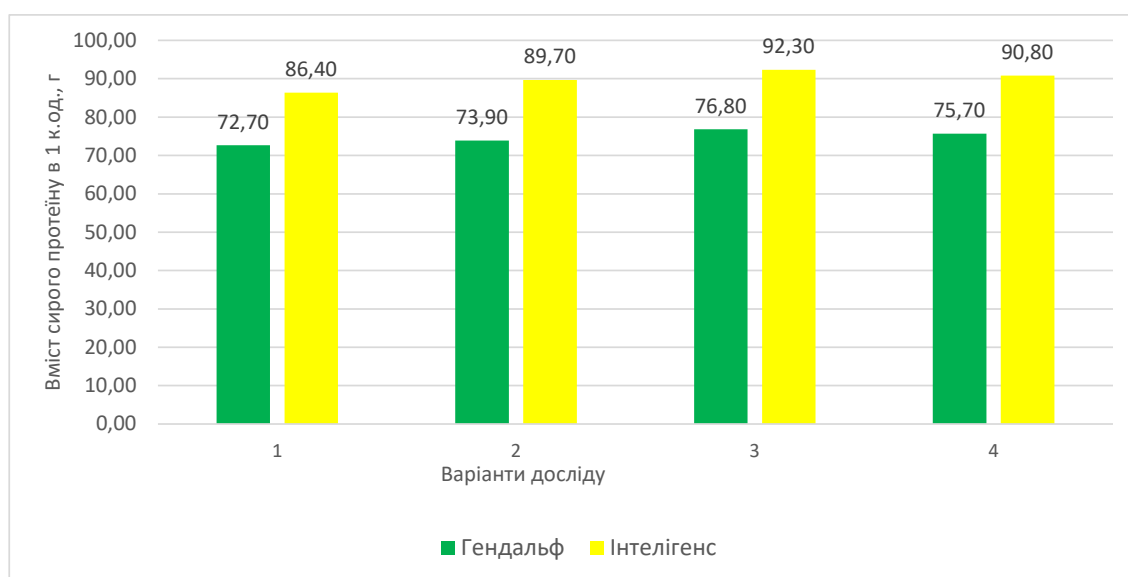


Рис. 2. Забезпеченість 1-ої кормової одиниці сирим протеїном (г) у гібридів кукурудзи

кормових одиниць. Під час використання мікродобрив і регуляторів росту вміст кормових одиниць і енергетичних кормових одиниць у досліджуваних гібридів зростав несуттєво на 0,01–0,02, порівняно з контролем.

За енергетичними характеристиками гібрид Інтелігенс суттєво переважає Гендальф, що робить більш доцільним використання його силосної маси для годівлі високопродуктивної худоби.

Забезпеченість кормової одиниці сирим протеїном є важливим показником збалансованості корму, який свідчить про вміст білка на одиницю енергетичної цінності. Цей показник прямо впливає на ефективність годівлі жуйних тварин, особливо в періоди високої продуктивності (лактації, інтенсивного росту).

Найбільшу забезпеченість 1 кормової одиниці сирим протеїном зеленої маси в гібридів кукурудзи Гендальф та Інтелігенс відмічено у третьому варіанті дослідження (Радікс (1 л/га) + Біогумат (1 л/га) + Фотосинтез (1 л/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи, Енерджи (1 л/га) + Лінамін (1 л/га) + Цинк (1 л/га) у фазі 6–8 листків кукурудзи) – 76,80 та 92,30 г (рис. 2). Приріст цього показника відносно контрольного варіанту становив 4,10 г і 5,90 г у гібридів Гендальф і Інтелігенс відповідно.

Придатність зеленої маси кукурудзи до силосування визначається вмістом у ній цукру, який забезпечує інтенсивність молочнокислого бродіння та рН середовища. У гібрида Гендальф вміст цукру в сухій речовині становив 10,40–10,75%, а в гібрида Інтелігенс він був вищим 10,60–11,05%. Мікродобрива і стимулятори росту не впли-

Придатність зеленої маси гібридів кукурудзи до силосування
(фаза воскової стиглості зерна)

Гібриди кукурудзи	Мікродобрива та регулятори росту рослин	Цукор, % в сухій речовині	Буферна ємність (Б _ε), % молочної кислоти в сухій речовині	Відношення цукру/буферної ємності
Гендальф	1	10,60	2,18	4,86
	2	10,40	2,22	4,69
	3	10,75	2,30	4,67
	4	10,55	2,27	4,65
Інтелігенс	1	10,90	2,59	4,21
	2	10,60	2,69	3,94
	3	11,05	2,77	3,99
	4	10,85	2,72	3,98

вали на вміст цукру в сухій речовині (табл. 4). Поряд із вмістом цукру важливу роль у процесі силосування відіграє буферна ємність сировини, яка характеризує стійкість маси до зниження рН. У гібрида Гендальф буферна ємність змінювалася від 2,18 до 2,30% молочної кислоти в перерахунку на суху речовину, з найнижчим значенням у контролі. У гібрида Інтелігенс буферна ємність була вищою – 2,59–2,77%.

Для оцінювання придатності рослинної маси до силосування важливим є співвідношення вмісту цукру до буферної ємності. У середньому цей показник має перевищувати значення 4,0, що забезпечує нормальний перебіг молочнокислого бродіння. У гібрида Гендальф відношення цукру до буферної ємності було в межах 4,65–4,86, а у гібрида Інтелігенс це співвідношення було нижчим – 3,94–4,21 через підвищену буферну ємність.

Обговорення

Згідно з результатами, отриманими в Правобережному Лісостепу України, внесення макро- та мікродобрив призводить до зростання вмісту крохмалю, сирого протеїну та целюлози в рослинних зразках кукурудзи по відношенню до варіантів без їх використання. Одночасно зі збільшенням вмісту цих показників спостерігається зниження вмісту клітковини під впливом добрив. У середньостиглих гібридів кукурудзи КВС 381 та Каріфолс був вищим вміст крохмалю, сирого протеїну та жиру порівняно із середньоранніми Амарос і Богатир (Grabovskiy et al., 2023). Водночас за даними А. Шинкарук і В. Лихочвор, підвищення норм мінерального живлення та проведення підживлень сприяє збільшенню вмісту протеїну в зерні кукурудзи, однак супроводжу-

ється зниженням рівня крохмалю та жиру (Shynkaruk & Lykhochvor, 2021).

Використання стимуляторів росту Авангард Гроу Аміно та Авангард Гроу Гумат в умовах Північного Степу України на кукурудзі забезпечують тенденцію до підвищення вмісту сирого протеїну на 6,42–8,4% та вмісту сирого жиру на 3,53–4,71%, порівняно з контролем (Tsyliuryk et al., 2023).

Поєднання використання передпосівного оброблення насіння зі стимулятором росту та позакореневих підживлень препаратами Емістим С і Еколист багатокомпонентний сприяло зниженню вмісту сирогої клітковини в зеленій масі: від 26,73% до 24,03% в середньораннього гібрида та від 28,18% до 25,08% – у середньостиглого. Вміст сирого жиру та сирого протеїну в обох гібридів порівняно з контролем зростав, тоді як рівень сирогої золи підвищувався незначною мірою. Застосування стимуляторів росту та позакореневих підживлень позитивно вплинуло на кормову продуктивність зеленої маси гібридів кукурудзи різних груп стиглості. Найвищі показники виходу кормових одиниць (22,85 т/га – у гібрида Білозірський 295 СВ та 22,24 т/га у гібрида Моніка 350 МВ), а також сирого протеїну (2,30 і 2,21 т/га, відповідно) були зафіксовані у варіанті з позакореневим підживленням Емістимом С у поєднанні з Еколистом багатокомпонентним на фоні передпосівного оброблення насіння (Сатановська, 2013).

За результатами досліджень, проведених у Південному Степу України, доведено, що гібридний склад, оброблення насіння та обприскування рослин кукурудзи рідкими комплексними мікродобривами та регуляторами росту позитивно вплинуло на показники якості зерна кукурудзи.

Найбільший вплив на вміст жиру відмічено в разі застосування препарату «Наномікс», що на 0,14% більше за контроль, також вказане оброблення підвищує вміст білка на 0,47% до 9,21%, але при цьому зменшується вміст крохмалю. Найбільше підвищує вміст крохмалю на 0,22% варіант застосування регуляторів росту «Сизам-Нано» + «Грейнактив-С» до 69,42% (Гож, 2016).

Внесення добрив у дозі N_{300} , а частково й N_{200} сприяє зниженню вмісту кислотно-детергентної та нейтрально-детергентної клітковини, водночас підвищуючи концентрацію сирого протеїну порівняно з неудобреними посівами кукурудзи (Lamprey et al., 2018).

Згідно з М. Аріола, врожайність сухої речовини з усієї рослини кукурудзи та перетравної сухої речовини, а також концентрація крохмалю та сухої речовини збільшувалися зі збільшенням дозрівання, тоді як концентрація сирого протеїну, водорозчинних вуглеводів та нейтральної детергентної клітковини зменшувалася в разі використання азотних добрив (Arriola et al., 2012).

Перед сівбою кукурудзи взаємодія між обробленням зерна мікродобривами та рівнем азоту на вміст водорозчинних вуглеводів, сирого білка, кислотного детергентного волокна та загальної золи є значною ($P \leq 0,01$). Загалом, результати показали, що оптимальним компонентом є оброблення препаратом Perko з використанням 240 кг/га азотного добрива (Baghdadi et al, 2017).

Вміст сирого протеїну в зразках кукурудзи становив 8,2–10,6%, сирого жиру – 1,6–2,9%, целюлози – 24,2–29,1% у перерахунку на суху речовину. У рослинах середньостиглих гібридів кукурудзи Крабас, Карпатіс і КВС Акустика був вищим вміст крохмалю, сирого протеїну та жиру порівняно із середньоранніми формами. Показник вмісту крохмалю в зеленій масі середньоранніх і середньостиглих гібридів кукурудзи залежав від генотипових особливостей досліджуваних форм та був у межах 31,3–34,7% і 36,1–39,0% (Павліченко та ін., 2024).

Висновки

Застосування мікродобрив і регуляторів росту рослин впливає на вміст сирого протеїну, сирого білка, клітковини, целюлози та крохмалю в зеленій масі кукурудзи. Не відмічено достовірного впливу мікродобрив та регуляторів росту рослин на вміст сирого жиру та відсутній їх вплив на вміст сирого білка. Кращі показники хімічного складу

зеленої маси гібридів кукурудзи отримано на третьому (Радікс (1 л/га) + Біогумат (1 л/га) + Фотосинтез (1 л/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи, Енерджи (1 л/га) + Лінамін (1 л/га) + Цинк (1 л/га) у фазі 6–8 листків кукурудзи) і четвертому варіантах досліду (Радікс (1 л/га) + Лінамін (1 л/га) + Турбоазот (1 л/га) + Біогумат (0,5 л/га) у фазі 3–5 листків кукурудзи; Енерджи (1 л/га) + Фотосинтез (1 л/га) + Цинк (1 л/га) + Біогумат (0,5 л/га) у фазі 6–8 листків кукурудзи). У гібрида Інтелігенс відмічено вищий вміст сирого протеїну, сирого жиру, сирого білка, клітковини, крохмалю і целюлози в зеленій масі порівняно з гібридом Гендальф.

Установлено високий позитивний зв'язок між вмістом сирого протеїну та крохмалю ($r = 0,98$), сирого протеїну та сирого жиру ($r = 0,97$), сирого протеїну і целюлози ($r = 0,96$), сирого жиру з вмістом крохмалю і целюлози ($r = 0,98$). Загалом, кореляційні залежності вказують на те, що підвищення вмісту енергетично цінних речовин (сирого жиру, сирого протеїну і крохмалю) супроводжується зниженням рівня клітковини, що є важливим під час оцінення кормової цінності зеленої маси кукурудзи.

Застосування мікродобрив і регуляторів росту рослин сприяло помірному підвищенню вмісту оцтової кислоти та більш активнішому накопиченню молочної кислоти в зеленій масі кукурудзи.

Проведення позакореневих підживлень мікродобривами і регуляторами росту впливало на енергетичну цінність зеленої маси гібридів кукурудзи у фазу воскової стиглості зерна. У гібридів Гендальф та Інтелігенс найвищі значення валової та обмінної енергії і нетто-енергії лактації (NEL) отримано на третьому і четвертому варіантах досліду – 18,79–19,09 МДж/кг, 10,55–10,89 МДж/кг і 6,33–6,54 МДж/кг. При цьому вміст кормових одиниць і енергетичних кормових одиниць зростав лише на 0,01–0,02 порівняно з контролем. За енергетичними характеристиками гібрид Інтелігенс суттєво переважає Гендальф.

Кращу придатність зеленої маси кукурудзи до силосування за вмістом цукру, буферною ємністю та відношенням цукру до буферної ємності має гібрид Гендальф. У гібрида Інтелігенс застосування мікродобрив і регуляторів росту забезпечило високий вміст цукру, однак співвідношення з буферною ємністю є низьким, що вимагає більш ретельного контролю ферментаційного процесу під час заготівлі силосу.

Список використаної літератури

- Гож О.А. Продуктивність гібридів кукурудзи залежно від мікродобрив та регуляторів росту на зрошуваних землях півдня України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.09 ; Херсонський державний аграрний університет. Херсон, 2016. 20 с.
- Грабовський М.Б., Грабовська Т.О., Ященко С.А. Застосування препарату Ентеронормін у посівах кукурудзи. АгроТерра. 2020. № 1(8). С. 49–56.
- Дехтяр З.М., Грицаєнко А.О., Карпенко В.К. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. Київ : ЗАТ «Нічлава», 2003. 320 с.
- Дехтяр Ю.Ф. Годівля тварин і технологія кормів : курс лекцій. Миколаїв : МНАУ, 2014. 129 с.
- ДСТУ 46.045:2003. Зерно. Методи визначення умовної крохмалистості. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 20 с.
- ДСТУ ISO 5983–2003. Визначення вмісту азоту і обчислення вмісту сирого білка методом К'ельдаля. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 18 с.
- ДСТУ ISO 5984:2004. Визначення вмісту сирової золи. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 4 с.
- ДСТУ ISO 6492–2003. Визначення вмісту жиру. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 19 с.
- ДСТУ ISO 6865:2004. Визначення вмісту сирової клітковини методом проміжного фільтрування (ISO 6865:2000, IDT). Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 14 с.
- Костенко В.М., Панько В.В., Сироватко К.М. Практикум з годівлі сільськогосподарських тварин. Частина I «Хімічний склад, оцінка поживності та якості кормів». Вінниця : РВВ ВДАУ, 2008. 141 с.
- Лебідь Є.М. Методика проведення польових дослідів з кукурудзою : методичні рекомендації. Дніпропетровськ, 2008. 27 с.
- Мойсейченко В.Ф., Єщенко В.О. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ : Вища школа, 1994. 334 с.
- Павліченко К.В., Грабовський М.Б., Німенко С.С. Оцінка гібридів кукурудзи за якісними показниками зеленої маси. Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів «Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур», с. Центральне, 19 квітня 2024 р. : МІП ім. В. Я. Ремесла. С. 124.
- Сатановська І.П. Використання регуляторів росту та хелатних добрив при формуванні продуктивності різностиглих гібридів кукурудзи на силос. Корми і кормовиробництво. 2013. Вип. 76. С. 218–224.
- Allen M.S., Coors J.G., Roth G.W. Corn silage. Silage science and technology. 2003. Vol. 42. P. 547–608. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr42.c12>.
- Araújo K.G., Villela S.D.J., Leonel F.D.P., Costa P.M., Fernandes L.D.O., Tamy W.P., Andrade V.R. Yield and quality of silage of maize hybrids. Revista Brasileira de Zootecnia. 2012. Vol. 41. P. 1539–1544. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000600031>.
- Arriola K.G., Kim S.C., Huisden C.M., Adesogan A.T. Stay-green ranking and maturity of corn hybrids: 1. Effects on dry matter yield, nutritional value, fermentation characteristics, and aerobic stability of silage hybrids in Florida. Journal of Dairy Science. 2012. Vol. 95. № 2. P. 964–974. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4524>.
- Baghdadi A., Balazadeh M., Kashani A., Golzardi F., Gholamhoseini M., Mehrnia M. Effect of pre-sowing and nitrogen application on forage quality of silage corn. Agronomy Research. 2017. Vol. 15. № 1. P. 11–23.
- Chornolata L., Zdor L., Lykhach S., Honchar L. Features of the carbohydrate composition of the silage corn hybrids green mass. Feeds and Feed Production. 2025. № 99. P. 171–180. <https://orcid.org/0000-0002-6970-2233>.
- Erenstein O. The evolving maize sector in Asia: Challenges and opportunities. Journal of New Seeds. 2010. Vol. 11. P. 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>.
- Erenstein O., Jaleta M., Sonder K., Mottaleb K., Prasanna B. M. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. Food Security. 2022. Vol. 14. № 5. P. 1295–1319. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>.
- FAOStat. FAO, Rome. 2021. URL: <http://www.fao.org/faostat> (дата звернення 10.07.2025)
- Ferraretto L.F., Shaver R.D., Luck B.D. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101. № 5. P. 3937–3951. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13728>.

- Grabovskiy M., Kucheruk P., Pavlichenko K., Roubik H. Influence of macronutrients and micronutrients on maize hybrids for biogas production. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. Vol. 30. P. 70022–70038. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27235-3>.
- Grote U., Fasse A., Nguyen T., Erenstein O. Food security and the dynamics of wheat and maize value chains in Africa and Asia. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021. Vol. 4. 617009. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.617009>.
- Khan N.A., Yu.P., Ali M., Cone J.W., Hendriks W.H. Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015. Vol. 95. № 2. P. 238–252. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6703>.
- Lamprey S., Yeboah S., Li L. Response of maize forage yield and quality to nitrogen fertilization and harvest time in semi-arid Northwest China. *Asian Journal of Research in Agriculture and Forestry*. 2018. Vol. 1. № 2. P. 1–10. <https://doi.org/10.9734/AJRAF/2018/40968>.
- Mandić V., Bijelić Z., Krnjaja V., Simić A., Petričević M., Mičić N., Caro P. V. Effect of harvesting time on forage yield and quality of maize. *Biotechnology in Animal Husbandry*. 2018. Vol. 34. № 3. P. 345–353. <https://doi.org/10.2298/BAH1803345M>.
- Poole N., Donovan J., Erenstein O. Agri-nutrition research: Revisiting the contribution of maize and wheat to human nutrition and health. *Food Policy*. 2021. Vol. 100. 101976. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101976>.
- Ranum P., Peña-Rosas J.P., Garcia-Casal M.N. Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2014. Vol. 1312. P. 105–112. <https://doi.org/10.1111/nyas.12396>.
- Shiferaw B., Prasanna B., Hellin J., Banziger M. Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. *Food Security*. 2011. Vol. 3. P. 307–327. <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0140-5>
- Shynkaruk L., Lykhochvor V. Influence of fertilization and foliar feeding on maize grain qualitative indicators. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11. № 6. P. 113–116. https://doi.org/10.15421/2021_232.
- Tsilyiuryk O., Izhboldin O., Sologub I. Efficiency of growth regulators in corn crops of the Northern Steppe of Ukraine. *Scientific Horizons*. 2023. Vol. 26. № 10. P. 59–67. <https://doi.org/10.48077/scihor10.2023.59>.
- Zaragoza E.J., Tadeo R.M., Espinosa C.A., López L.C., García E.J.C., Zamudio G.B., Turrent F.A., Rosado N.F. Rendimiento y calidad de forraje de híbridos de maíz en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2019. Vol. 10. № 1. P. 101–111. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1403>.

References

- Gozh, O.A. (2016). *Produktyvnist' hibrydiv kukurudzy zalezno vid mikrodobryv ta reholjatoriv rostu na zroshuvanykh zemliakh pivdnia Ukrainy* [Productivity of corn hybrids depending on micronutrients and growth regulators on irrigated lands of southern Ukraine] (Author's abstract of the PhD dissertation). Kherson State Agrarian University, 20 [in Ukrainian].
- Grabovskiy, M.B., Grabovska, T.O., & Yashchenko, S.A. (2020). Zastosuvannya preparatu Enteronormin u posivakh kukurudzy [Application of the drug Enteronormin in corn crops]. *AhroTerra* [AhroTerra], 1(8), 49–56 [in Ukrainian].
- Hrytsaienko, Z.M., Hrytsaienko, A.O., & Karpenko, V.K. (2003). *Metody biolohichnykh ta ahrokhimichnykh doslidzhen' roslyn i gruntiv* [Methods of biological and agrochemical research of plants and soils]. Kyiv : ZAT "Nichlava" [in Ukrainian].
- Dekhtiar, Yu.F. (2014). *Hodivlia tvaryn i tekhnolohiia kormiv: kurs lektsii* [Animal feeding and feed technology: lecture course]. Mykolaiv : MNAU [in Ukrainian].
- DSTU 46.045:2003. (2003). *Zerno. Metody vyznachennia umovnoi krokhmalystosti* [Grain. Methods for determining conditional starch content]. Kyiv : State Consumer Standards Ukraine [in Ukrainian].
- DSTU ISO 5983–2003. (2003). *Vyznachennia vmistu azotu i obchyslennia vmistu syroho bilka metodom Kjeldalia* [Determination of nitrogen content and calculation of crude protein content by the Kjeldahl method]. Kyiv : State Consumer Standards Ukraine [in Ukrainian].
- DSTU ISO 5984:2004. (2005). *Vyznachennia vmistu syroi zoly* [Determination of crude ash content]. Kyiv : State Consumer Standards Ukraine [in Ukrainian].

DSTU ISO 6492–2003. (2003). Vyznachennia vmistu zhyru [Determination of fat content]. Kyiv : State Consumer Standards Ukraine Ukraine [in Ukrainian].

DSTU ISO 6865:2004. (2006). Vyznachennia vmistu syroi klitkovyny metodom promizhnoho fil'truvannia (ISO 6865:2000, IDT) [Determination of crude fiber content by intermediate filtration method]. Kyiv : State Consumer Standards Ukraine Ukraine [in Ukrainian].

Kostenko, V.M., Panko, V.V., & Syrovatko, K.M. (2008). Praktykum z hodivli sil's'kohospodars'kykh tvaryn. Chastyna I "Khimichni sklad, otsinka pozhyvnosti ta iakosti kormiv" [Workshop on feeding of farm animals. Part I "Chemical composition, nutritional assessment and feed quality"]. Vinnytsia : RVV VDAU [in Ukrainian].

Lebid, Ye.M. (2008). Metodyka provedennia pol'ovykh doslidzhen' z kukurudzoiu: metodychni rekomendatsii [Methodology for conducting field experiments with corn: methodological recommendations]. Dnipro [in Ukrainian].

Moiseichenko, V.F., & Yeshchenko, V.O. (1994). Osnovy naukovykh doslidzhen' v ahronomii [Fundamentals of scientific research in agronomy]. Kyiv : Vyshcha shkola [in Ukrainian].

Pavlichenko, K.V., Grabovskyi, M.B., & Nimenko, S.S. (2024). Otsinka hibrydiv kukurudzy za iakisnyimi pokaznykamy zelenoi masy [Evaluation of corn hybrids based on the quality indicators of green mass]. In Materialy XII Mizhnarodnoi nauково-praktychnoi konferentsii molodykh vchenykh i spetsialistiv "Selektsiia, henetyka ta tekhnolohii vyroshchuvannia sil's'kohospodars'kykh kul'tur", s. Tsentralne, 19 kvitnia 2024 r. (p. 124). MIP im. V. Ya. Remesla [in Ukrainian].

Satanovska, I.P. (2013). Vykorystannia rehuljatoriv rostu ta khelatnykh dobryv pry formuvanni produktyvnosti riznostyhykh hibrydiv kukurudzy na sylos [Use of growth regulators and chelated fertilizers in the formation of productivity of differently maturing corn hybrids for silage]. Kormy i kormovyrobnytstvo [Feeds and Feed Production], 76, 218–224 [in Ukrainian].

Allen, M.S., Coors, J.G., & Roth, G.W. (2003). Corn silage. Silage science and technology, 42, 547–608. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr42.c12> [in English].

Araújo, K.G., Villela, S.D.J., Leonel, F.D.P., Costa, P.M., Fernandes, L.D.O., Tamy, W. P., & Andrade, V. R. (2012). Yield and quality of silage of maize hybrids. Revista Brasileira de Zootecnia, 41, 1539–1544. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000600031> [in English].

Arriola, K.G., Kim, S.C., Huisden, C.M., & Adesogan, A.T. (2012). Stay-green ranking and maturity of corn hybrids: 1. Effects on dry matter yield, nutritional value, fermentation characteristics, and aerobic stability of silage hybrids in Florida. Journal of Dairy Science, 95(2), 964–974. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4524> [in English].

Baghdadi, A., Balazadeh, M., Kashani, A., Golzardi, F., Gholamhoseini, M., & Mehrnia, M. (2017). Effect of pre-sowing and nitrogen application on forage quality of silage corn. Agronomy Research, 15(1), 11–23 [in English].

Chornolata, L., Zdor, L., Lykhach, S., & Honchar, L. (2025). Features of the carbohydrate composition of the silage corn hybrids green mass. Feeds and Feed Production, (99), 171–180. <https://orcid.org/0000-0002-6970-2233> [in English].

Erenstein, O. (2010). The evolving maize sector in Asia: Challenges and opportunities. Journal of New Seeds, 11, 1–15. <https://doi.org/10.1080/15228860903517770> [in English].

Erenstein, O., Jaleta, M., Sonder, K., Mottaleb, K., & Prasanna, B. M. (2022). Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. Food Security, 14(5), 1295–1319. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7> [in English].

FAO Stat. (2021). FAO. Rome. [Electronic resource] URL: <http://www.fao.org/faostat> (access date 10.07.2025) [in English].

Ferraretto, L.F., Shaver, R.D., & Luck, B.D. (2018). Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. Journal of Dairy Science, 101(5), 3937–3951. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13728> [in English].

Grabovskyi, M., Kucheruk, P., Pavlichenko, K., & Roubik, H. (2023). Influence of macronutrients and micronutrients on maize hybrids for biogas production. Environmental Science and Pollution Research, 30, 70022–70038. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27235-3> [in English].

Grote, U., Fasse, A., Nguyen, T., & Erenstein, O. (2021). Food security and the dynamics of wheat and maize value chains in Africa and Asia. Frontiers in Sustainable Food Systems, 4, 617009. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.617009> [in English].

Khan, N.A., Yu, P., Ali, M., Cone, J.W., & Hendriks, W.H. (2015). Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. Journal of the Science of Food and Agriculture, 95(2), 238–252. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6703> [in English].

Lampzey, S., Yeboah, S., & Li, L. (2018). Response of maize forage yield and quality to nitrogen fertilization and harvest time in semi-arid Northwest China. *Asian Journal of Research in Agriculture and Forestry*, 1(2), 1–10. <https://doi.org/10.9734/AJRAF/2018/40968> [in English].

Mandić, V., Bijelić, Z., Krnjaja, V., Simić, A., Petričević, M., Mičić, N., & Caro, P. V. (2018). Effect of harvesting time on forage yield and quality of maize. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 34(3), 345–353. <https://doi.org/10.2298/BAH1803345M> [in English].

Poole, N., Donovan, J., & Erenstein, O. (2021). Agri-nutrition research: Revisiting the contribution of maize and wheat to human nutrition and health. *Food Policy*, 100, 101976. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101976> [in English].

Ranum, P., Peña-Rosas, J. P., & Garcia-Casal, M. N. (2014). Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312, 105–112. <https://doi.org/10.1111/nyas.12396> [in English].

Shiferaw, B., Prasanna, B., Hellin, J., & Banziger, M. (2011). Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. *Food Security*, 3, 307–327. <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0140-5> [in English].

Shynkaruk, L., & Lykhochvor, V. (2021). Influence of fertilization and foliar feeding on maize grain qualitative indicators. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11(6), 113–116. https://doi.org/10.15421/2021_232 [in English].

Tsyliuryk, O., Izhboldin, O., & Sologub, I. (2023). Efficiency of growth regulators in corn crops of the Northern Steppe of Ukraine. *Scientific Horizons*, 26(10), 59–67. <https://doi.org/10.48077/scihor10.2023.59> [in English].

Zaragoza, E.J., Tadeo, R.M., Espinosa, C.A., López, L.C., García, E.J.C., Zamudio, G.B., Turrent, F.A., & Rosado, N. F. (2019). Rendimiento y calidad de forraje de híbridos de maíz en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1), 101–111. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1403> [in English].

Отримано: 16.07.2025

Прийнято: 02.09.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 635.21:631.523
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.23>

СТРОКИ САДІННЯ КАРТОПЛІ ТА СТАЛІСТЬ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА: ЕКОЛОГІЧНІ ТА РЕСУРСНІ АСПЕКТИ (ОГЛЯДОВА)

А. Ю. Дрозденко¹, А. О. Бутенко²

Сучасне сільське господарство України зіштовхується з безпрецедентними викликами, спричиненими повномасштабним вторгненням та значним скороченням доступних для обробки земель. У цих умовах гостро постає питання оптимізації кожного агротехнічного заходу для забезпечення продовольчої безпеки країни та підвищення ефективності виробництва. Ця оглядова стаття зосереджена на аналізі впливу строків садіння картоплі (*Solanum tuberosum* L.) та інших елементів технології вирощування на її продуктивність та якість, синтезуючи дані світових та українських наукових досліджень. Дослідження ґрунтується на систематичному аналізі актуальної наукової літератури з провідних баз даних. Пошук здійснювався за ключовими словами: «картопля», «строки садіння», «оптимізація садіння», «врожайність картоплі», «якість бульби», «кліматичні зміни», «агротехніка картоплі», з особливою увагою до українських досліджень. Виявлено, що строки садіння є критично важливим фактором, який безпосередньо впливає на фізіологічний розвиток рослин, формування бульби та кінцеву врожайність. Оптимальні терміни садіння значно варіюються залежно від регіону та сортових особливостей. Наприклад, в Індії оптимальним є садіння в жовтні, в Бангладеш – у грудні, тоді як у Північному Китаї рекомендовано пізніше садіння середньо- або пізньостиглими сортами, залежно від географічної осі. В умовах України, зокрема Полісся, оптимальними строками вважається друга або третя декада квітня, а для літнього садіння на Півдні – третя декада червня. Раннє садіння також показало свою ефективність в Ефіопії для збільшення середньої маси бульби та врожайності. Однак огляд підкреслює, що строки садіння не є єдиним вирішальним фактором. Для досягнення високої та стабільної врожайності необхідний комплексний підхід. Зокрема, доведено ефективність біологізованих технологій. Застосування сидератів у поєднанні з біодеструкторами значно підвищує біорізноманіття мікробного комплексу ґрунту та кількість корисних мікроорганізмів, сприяючи покращенню ґрунтових процесів і пригніченню патогенів. Такі біологізовані системи, навіть за децю нижчої загальної врожайності порівняно зі стандартними, можуть забезпечувати значно вищий умовно-чистий прибуток та рентабельність завдяки вищій ціні органічної продукції та мінімізації витрат на хімікати. Також важливу роль відіграють позакореневі підживлення мікроелементами та оптимізація мінерального живлення в поєднанні з конкретними схемами садіння.

¹ аспірант кафедри біотехнології та хімії
(Сумський національний аграрний університет, м. Суми)
e-mail: 7939918@ukr.net
ORCID: 0009-0004-9225-3183

² кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри агротехнологій та ґрунтознавства
(Сумський національний аграрний університет, м. Суми)
e-mail: andb201727@ukr.net
ORCID: 0000-0001-9639-9826

Дослідження показують, що дворазове позакореневе підживлення мікроелементами на фоні сидерату та локального внесення мінеральних добрив покращує ріст, розвиток і врожайність насінневої картоплі. Оптимізовані дози мінеральних добрив у поєднанні з позакореневим підживленням та певною схемою садіння сприяють максимальному накопиченню сухої речовини та крохмалю, особливо в ранньостиглих сортів. Зростання врожайності картоплі на початку XXI століття в Україні значною мірою зумовлене технологічними покращеннями, впровадженням нових адаптованих сортів та ефективнішою боротьбою зі шкідниками й хворобами, а не виключно сприятливими змінами клімату. Навпаки, потепління призводить до збільшення посушливості та періодичного перезволоження ґрунту, що є викликом для стабільності врожайів. Таким чином, для забезпечення продовольчої безпеки та підвищення ефективності картоплярства в Україні, особливо в умовах обмежених ресурсів та змін клімату, необхідне впровадження інтегрованого підходу. Він має поєднувати науково обґрунтований вибір строків садіння, застосування біологічних препаратів, адаптованих систем живлення та використання нових, стресостійких сортів.

Ключові слова: картопля, строки садіння, врожайність, біологізовані технології, агротехніка, зміна клімату.

POTATO PLANTING DATES AND SUSTAINABLE AGRICULTURE: ECOLOGICAL AND RESOURCE ASPECTS (REVIEW)

A. Yu. Drozdenko, A. O. Butenko

Modern Ukrainian agriculture faces unprecedented challenges caused by the full-scale invasion and a significant reduction in available arable land. Under these circumstances, the optimization of every agrotechnical measure becomes acutely important to ensure the country's food security and increase production efficiency. This review article focuses on analyzing the impact of potato (*Solanum tuberosum* L.) planting dates and other elements of cultivation technology on its productivity and quality, synthesizing data from global and Ukrainian scientific research. The study is based on a systematic analysis of current scientific literature from leading databases. The search was conducted using keywords such as "potato", "planting dates", "planting optimization", "potato yield", "tuber quality", "climate change" and "potato agrotechnology" with particular attention paid to Ukrainian research. It has been found that planting dates are a critically important factor directly influencing the physiological development of plants, tuber formation, and final yield. Optimal planting times vary significantly depending on the region and varietal characteristics. For example, in India, optimal planting is in October, in Bangladesh – in December, while in North China, later planting of mid- or late-maturing cultivars is recommended, depending on the geographical axis. In Ukraine, particularly in Polissia, the optimal period is considered to be the second or third decade of April, and for summer planting in the South – the third decade of June. Early planting has also shown its effectiveness in Ethiopia for increasing average tuber weight and yield. However, the review emphasizes that planting dates are not the sole decisive factor. A comprehensive approach is necessary to achieve high and stable yields. Specifically, the effectiveness of biologized technologies has been proven. The use of cover crops in combination with biodestructors significantly increases the biodiversity of the soil's microbial complex and the number of beneficial microorganisms, contributing to improved soil processes and pathogen suppression. Such biologized systems, even with slightly lower overall yields compared to standard ones, can provide significantly higher conditional net profit and profitability due to the higher price of organic products and minimized chemical costs. Additionally, foliar fertilization with microelements and optimization of mineral nutrition in combination with specific planting schemes play an important role. Studies show that a double foliar application of microelements against a background of cover crops and localized mineral fertilizer application improves the growth, development, and yield of seed potatoes. Optimized mineral fertilizer doses in combination with foliar fertilization and a specific planting scheme contribute to the maximum accumulation of dry matter and starch, especially in early-maturing cultivars. The increase in potato yield in Ukraine at the beginning of the 21st century is largely due to technological improvements, the introduction of new adapted varieties, and more effective pest and disease control, rather than solely favorable climate changes. Conversely, warming leads to increased drought and periodic waterlogging of the soil, which poses a challenge to yield stability. Thus, to ensure food security and enhance potato cultivation efficiency in Ukraine, especially under conditions of limited resources and climate change, the implementation of an integrated approach is necessary. This approach should combine scientifically substantiated planting dates, the application of biological preparations, adapted nutrition systems, and the use of new, stress-tolerant cultivars.

Key words: potato, planting dates, yield, biologized technologies, agrotechnics, climate change.

Вступ

Сільське господарство України, що завжди було основою економіки, зараз гостро потребує інновацій та впровадження новітніх технологій вирощування культур, зокрема й картоплі. Нині, на фоні повномасштабного вторгнення та окупації майже 25% території України, землі, на яких вирощується сільськогосподарська продукція, суттєво скоротилися (Datsko et al., 2025a). Це створює безпрецедентний тиск на аграрний сектор, змушуючи фермерів шукати шляхи підвищення ефективності виробництва на доступних площах.

У цих умовах оптимізація кожного агротехнічного заходу стає критично важливою, і строки садіння картоплі виходять на перший план як один із ключових факторів (Datsko et al., 2025b). Правильний вибір часу садіння дозволяє максимально використати сприятливі погодні умови, забезпечити оптимальний розвиток рослин та мінімізувати ризики від абіотичних стресів (як-от посухи або заморозки), а також знизити фітосанітарні ризики (Bondus et al., 2022). В умовах дефіциту земельних ресурсів кожен гектар повинен давати максимальний урожай, і точне визначення строків садіння є одним із найдоступніших та ефективних інструментів для досягнення цієї мети. Це не лише про підвищення врожайності, а й про забезпечення продовольчої безпеки країни та економічної стійкості аграрного сектора в ці надскладні часи.

Матеріал і методи

Ця оглядова стаття ґрунтується на систематичному аналізі та синтезі наукової літератури, що стосується впливу строків садіння на вирощування картоплі. Для збору інформації були використані провідні наукові бази даних, зокрема Web of Science, Scopus, Google Scholar та ін. Пошук здійснювався за ключовими словами: «картопля», «строки садіння», «оптимізація садіння», «врожайність картоплі», «якість бульб», «кліматичні зміни», «агротехніка картоплі», з особливою увагою до досліджень, проведених в Україні та країнах зі схожими агрокліматичними умовами. Аналізувалися наукові статті, матеріали конференцій та оглядові публікації, опубліковані переважно за останні 10–15 років, щоб забезпечити актуальність даних.

Зібрані матеріали було ретельно вивчено з метою ідентифікації ключових факторів, що впливають на вибір оптимальних строків садіння картоплі, та їх впливу на різні

аспекти вирощування: від фізіологічного розвитку рослин до кінцевої врожайності та якості продукції. Особливу увагу приділено взаємодії строків садіння з кліматичними умовами (температура, опади, тривалість світлового дня), сортовими особливостями картоплі, ризиками розвитку хвороб та шкідників, а також економічною доцільністю. Метою аналізу було виявлення спільних тенденцій, протиріч у даних та невирішених питань, що потребують подальших досліджень, особливо в контексті сучасних викликів для сільського господарства України.

Результати та їх обговорення

Аналіз зібраних наукових джерел дозволив виявити ключові закономірності та фактори, що визначають оптимальні строки садіння картоплі, а також їх вплив на врожайність та якість бульб. Зокрема, дослідження підкреслюють прямий зв'язок між часом висадки та подальшим фізіологічним розвитком рослин, що безпосередньо відбивається на формуванні врожаю. Наприклад, було досліджено літні строки садіння картоплі різних груп стиглості свіжозібраними бульбами, їх врожайність і водоспоживання (Вожегова та ін., 2021). Було виявлено, що найбільш оптимальним строком садіння є третя декада червня, зокрема двадцять – двадцять п'яте число. Саме в цей період садіння була досягнута найбільша врожайність. Водночас учені зони Полісся встановили, що найбільш оптимальним строком садіння саме для цієї зони є квітень, а саме друга чи третя декада. Такі висновки були зроблені на основі того, що схожість бульб досліджуваних сортів картоплі саме в цей період була найвищою (Марценюк, 2024).

Проте це питання маловивчене в Україні через непередбачувані кліматичні умови та пізні заморозки. Тому цей досвід можна перейняти в закордонних колег. Дослідники Індії встановили, що найбільш сприятливим для їх зони строком садіння картоплі є 10 жовтня, що забезпечило збільшення висоти бадилля картоплі, кількості листків, а також вищу кількість бульб картоплі з однієї рослини, що відповідно призвело і до більшої врожайності. Варто зазначити, що такий строк садіння є оптимальним для цієї зони досліджень, водночас ранній строк – 30 вересня забезпечив максимальну схожість бульб, проте не підвищив урожайність (Thongam et al., 2017). Схожої думки дійшли й учені з Бангладешу. Серед трьох

термінів садіння найкращий вплив на врожайність досліджуваних сортів мав оптимальний строк садіння – 5 грудня. Цей строк садіння дав можливість підвищити морфологічні показники та врожайність культури (Ahmed et al., 2017). Схожу тезу щодо найбільш сприятливого строку садіння картоплі в Бангладеші висунули й інші вчені (Begum et al., 2015). За результатами досліджень оптимальний строк сівби (16 листопада) призвів до найвищої площі листової поверхні, кількості сухої речовини в бульбах, а також підвищення врожайності. Вчені Китаю досягли цікавих результатів та надали рекомендації щодо культивування культури в Північній його частині. Зокрема, було рекомендовано висадження ранньостиглих сортів у пізні строки у площині з Півночі на Південь та пізні садіння пізньостиглих сортів у площині із Заходу на Схід. Така комбінація дозволить отримати максимально можливий врожай для досліджуваного регіону (Li et al., 2021). Схожої думки про пізні строки садіння картоплі дотримуються й (Yang et al., 2019). Їх результати вказують на те, що саме пізні строки садіння підвищують урожайність в умовах Китаю. В Ірані досліджували цілий комплекс показників та визначали найбільш оптимальні строки садіння, його глибину та густоту. Найвищу врожайність дозволив отримати саме ранній строк (11 травня) садіння картоплі (Arab et al., 2011). Дослідження вчених з Ефіопії виявили, що найбільш оптимальним є ранній строк садіння (20–30 жовтня). Відповідно до отриманих даних, саме за ранніх строків підвищилась середня маса однієї бульби та врожайність – як товарна, так і загальна (Haile et al., 2015).

Однак технологія вирощування картоплі включає не лише строки садіння бульб, хоча, як видно з попередньо наведених досліджень, це доволі важливий її компонент, але не єдиний. Наприклад, дослідження на Півдні України показало, що біологізована технологія вирощування картоплі на сидераті забезпечує вищий умовно чистий прибуток і рентабельність порівняно зі стандартною технологією, незважаючи на дещо нижчу врожайність. Це досягається завдяки вищій ціні реалізації органічної продукції та мінімальній кількості засобів захисту рослин (Балашова та ін., 2021). Дослідження в Західному Поліссі підтверджують ефективність застосування біодобрив. Зокрема, (Khomenko & Tonkha, 2024) довели, що застосування біоеструк-

тора Екостерн в органічній технології вирощування картоплі значно підвищує біорізноманіття мікробного комплексу ґрунту та кількість корисних мікроорганізмів, що сприяє покращенню ґрунтових процесів. Це свідчить про Екостерн як ефективний засіб для стимулювання біорізноманіття та пригнічення патогенів у дерново-підзолистих ґрунтах. Дослідження (Vdovenko et al., 2023) показало, що дворазове позакореневе підживлення мікроелементами із препарату Вуксал Макромікс на фоні сидерату та локального внесення мінеральних добрив ($N_{60}P_{60}K_{60}$) значно покращує ріст, розвиток і врожайність насінневої картоплі. Цей комплексний підхід збільшив вегетаційний період, висоту рослин, кількість стебел і бульб, середню масу бульби, а також загальну та насінневу врожайність сортів Лабелла і Коннект порівняно з контролем. Дослідження сортів картоплі Арія (ранньостиглий) та Гурман (середньостиглий) у Карпатському регіоні показало, що оптимальна доза мінеральних добрив ($N_{90}P_{90}K_{120}$) у поєднанні з позакореневим підживленням мікродобривами та схемою садіння 70x20 см сприяє максимальному накопиченню сухої речовини та крохмалю, особливо в сорту Арія (Коваль та ін., 2022).

Варто також зазначити, що дослідження агрометеорологічних умов вирощування картоплі в Західному Поліссі України (Львівщина) показало, що зростання врожайності на початку ХХІ століття зумовлене саме технологічними покращеннями, новими сортами та ефективнішою боротьбою зі шкідниками/хворобами, а не сприятливими кліматичними змінами. Натомість потепління клімату призвело до збільшення посушливості та періодичного перезволоження ґрунту, що негативно впливає на врожайність і якість картоплі (Polovyi et al., 2021).

Висновки

Проведений огляд наукової літератури підкреслює критичну важливість оптимізації строків садіння картоплі, що є особливо актуальним для сільського господарства України в умовах скорочення земельних ресурсів та зміни клімату. Дослідження з різних регіонів світу демонструють значний вплив часу садіння на фізіологічний розвиток рослин, формування бульб та кінцеву врожайність, хоча оптимальні терміни різняться залежно від агрокліматичних умов та сортових особливостей.

Водночас аналіз показав, що строки садіння є лише одним з елементів комплек-

сної технології вирощування. Ефективність біологізованих підходів (наприклад, використання сидератів та біодеструкторів, як-от Екостерн), а також роль позакореневих підживлень мікроелементами та оптимізованих доз мінеральних добрив мають вирішальне значення для підвищення продуктивності та рентабельності картоплярства, часто забезпечуючи вищу якість та економічну доцільність продукції навіть за дещо нижчої загальної врожайності. Крім того, підтверджено, що зростання врожайності на початку ХХІ століття значною мірою зумовлено тех-

нологічними інноваціями та впровадженням нових сортів, які краще адаптовані до мінливих кліматичних умов, включаючи підвищену посушливість і нерівномірність опадів.

Таким чином, для забезпечення стабільно високих та якісних урожаїв картоплі в умовах сучасних викликів українським фермерам необхідно застосовувати інтегрований підхід, що поєднує науково обґрунтовані строки садіння з використанням біологічних препаратів, адаптованих систем удобрення та новітніх сортів, здатних мінімізувати вплив абіотичних стресів.

Список використаної літератури

Балашова Г.С., Нетіс В.І, Юзюк С.М., Котов Б.С., Юзюк О.О. Ефективність біологізованої технології вирощування картоплі за краплинного зрошення в умовах Півдня України. *Вісник аграрної науки*. 2021. Т. 99. № 5. С. 60–64. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202105-08>.

Вожегова Р.А., Балашова Г.С., Бояркіна Л.В., Сахацький Г.І. Вплив різних строків літнього садіння свіжозібраними бульбами на водоспоживання картоплі в умовах зрошення Півдня України. *Аграрні інновації*. 2021. № 5. С. 118–122. <https://doi.org/10.32848/agr.innov.2021.5.19>.

Коваль А.В., Ільчук І.В., Гадзало А.Я., Мартинюк І.В. Біохімічна характеристика сортів картоплі за вирощування в умовах Західного Лісостепу України. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2022. Вип. 71(1). С. 110–122. [https://doi.org/10.32636/01308521.2022-\(71\)-1-7](https://doi.org/10.32636/01308521.2022-(71)-1-7).

Марценюк Я.Ю. Динаміка формування продуктивності картоплі залежно від строків садіння. *Аграрні інновації*. 2024. № 23. С. 112–117. <https://doi.org/10.32848/agr.innov.2024.23.16>.

Ahmed B., Sultana M., Chowdhury M., Akhter S., Alam M. Growth and Yield Performance of Potato Varieties Under Different Planting Dates. *Bangladesh Agronomy Journal*. 2017. Vol. 20 № 1. P. 25–29. <https://doi.org/10.3329/baj.v20i1.34878>.

Arab H.R., Afshari H., Daliri M.S., Laei G., Toudar S.R. The Effect of Planting Date, Depth and Density on Yield and Yield Components of Potato in Shahrood (Iran). *Journal of Research in Agricultural Science*. 2011. Vol. 7. № 2. P. 141–149.

Begum F., Kundu B., Hossain M. Physiological analysis of growth and yield of potato in relation to planting date. *Journal of Bangladesh Academy of Sciences*. 2015. Vol. 39. № 1. P. 45–51. <https://doi.org/10.3329/jbas.v39i1.23657>.

Bondus R., Kharchenko Yu., Furdyga M., Mishchenko L., Podhaietskyi A., Hordienko V., Hordienko O., Koval V. Polymorphism of the available potato gene pool for resistance to abiotic and biotic factors of the environment and its practical use. *The Journal of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series «Biology»*. 2022. Vol. 38. P. 4–13. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2022-38-1>.

Datsko O., Melnyk O., Kovalenko I., Butenko A., Zakharchenko E., Ilchenko V., Onychko V., Solokha M. Estimation of the content of trace metals in Ukrainian military-affected soils. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2025a. Vol. 53. № 1. P. 14328. <https://doi.org/10.15835/nbha53114328>.

Datsko O., Kovalenko N., Hotvianska A., Sologub I., Bondarenko O., Hulenko O., Dubovyk I., Sakhoshko M., Davydenko G., Radchenko M., Pidluzhny E. Regenerative farming as a tool to combat climate change. *Modern Phytomorphology*. 2025b. Vol. 19. P. 117–120.

Khomenko T.O., Tonkha O.L. Оцінка біологічної активності дерново-підзолистого ґрунту за застосування органічних технологій вирощування картоплі. *Науківі Доповіді Національного Університету Біоресурсів і Природокористування України*. 2024. Vol. 1. № 107. [https://doi.org/10.31548/dopovidi.1\(107\).2024.005](https://doi.org/10.31548/dopovidi.1(107).2024.005).

Li Y., Wang J., Tang J., Wang E., Pan Z., Pan X., Hu Q. Optimum planting date and cultivar maturity to optimize potato yield and yield stability in North China. *Field Crops Research*. 2021. Vol. 269. P. 108179. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108179>.

Polovyi A., Bozhko L., Barsukova E. The influence of weather conditions on the formation of potato yields in the Western Polessie. *Ecological Sciences*. 2021. Vol. 36. № 3. P. 104–109. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.3-36.16>.

Thongam B., Kadam A.S., Singh A.A., Singh Y.H. Influence of planting dates on growth and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2017. Vol. 6. № 6. P. 1243–1246.

Vdovenko S., Poltoretskyi S., Polishchuk M., Verheles P. Optimization of the feeding system of seed potatoes growing in the conditions of the forest steppe of the right bank. *Agriculture and Forestry*. 2023. Vol. 1. P. 62–73. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2023-1-5>.

Yang L., Jing W., Jianzhao T., Mingxia H., Huiqing B., Na W., Fuwei H. Coupling impacts of planting date and cultivar on potato yield. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*. 2019. Vol. 27. № 2. P. 296–304. <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180707>.

References

Vozhehova, R.A., Balashova, H.S., Boiarkina, L.V., & Sakhatskyi, H.I. (2021). Vplyv riznykh strokiv litnoho sadinnia svizhozibranykh bulbamy na vodospozhyvannia kartopli v umovakh zroshennia Pivdnia Ukrainy [The influence of different summer planting dates with freshly harvested tubers on potato water consumption under irrigated conditions in Southern Ukraine]. *Ahrarni innovatsii [Agricultural innovations]*, 5, 118–122. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.5.19> [in Ukrainian].

Koval, A.V., Ilchuk, I.V., Hadzalo, A.Ya., & Martyniuk, I.V. (2022). Biokhimichna kharakterystyka sortiv kartopli za vyroshchuvannia v umovakh Zakhidnoho Lisostepu Ukrainy [Biochemical characteristics of potato varieties grown in the Western Forest-Steppe of Ukraine]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnytstvo [Foothill and mountain agriculture and animal husbandry]*, 71 (1), 110–122. [https://doi.org/10.32636/01308521.2022-\(71\)-1-7](https://doi.org/10.32636/01308521.2022-(71)-1-7) [in Ukrainian].

Martseniuk, Ya.Yu. (2024). Dynamika formuvannia produktyvnosti kartopli zalezno vid strokiv sadinnia [Dynamics of potato productivity formation depending on planting dates]. *Ahrarni innovatsii [Agrarian innovations]*, 23, 112–117. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.16> [in Ukrainian].

Balashova, H.S., Netis, V.I., Yuziuk, S.M., Kotov, B.S., Yuziuk, O.O. (2021). Efektyvnist biolohizovanoi tekhnolohii vyroshchuvannia kartopli za kraplynnoho zroshennia v umovakh Pivdnia Ukrainy [Efficiency of biologized technology of growing potatoes with drip irrigation in the conditions of Southern Ukraine]. *Visnyk ahrarnoi nauky [Bulletin of Agricultural Science]*, 99 (5), 60–64. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202105-08> [in Ukrainian].

Ahmed, B., Sultana, M., Chowdhury, M., Akhter, S., & Alam, M. (2017). Growth and Yield Performance of Potato Varieties Under Different Planting Dates. *Bangladesh Agronomy Journal*, 20 (1), 25–29. <https://doi.org/10.3329/baj.v20i1.34878> [in English].

Arab, H. R., Afshari, H., Daliri, M. S., Laei, G., & Toudar, S. R. (2011). The Effect of Planting Date, Depth and Density on Yield and Yield Components of Potato in Shahrood (Iran). *Journal of Research in Agricultural Science*, 7 (2), 141–149 [in English].

Begum, F., Kundu, B., & Hossain, M. (2015). Physiological analysis of growth and yield of potato in relation to planting date. *Journal of Bangladesh Academy of Sciences*, 39 (1), 45–51. <https://doi.org/10.3329/jbas.v39i1.23657> [in English].

Bondus, R., Kharchenko, Yu., Furdyga, M., Mishchenko, L., Podhaietskyi, A., Hordienko, V., Hordienko, O., & Koval, V. (2022). Polymorphism of the available potato gene pool for resistance to abiotic and biotic factors of the environment and its practical use. *The Journal of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series «Biology»*, 38, 4–13. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2022-38-1> [in English].

Datsko, O., Melnyk, O., Kovalenko, I., Butenko, A., Zakharchenko, E., Ilchenko, V., Onychko, V., & Solokha, M. (2025a). Estimation of the content of trace metals in Ukrainian military-affected soils. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 53 (1), 14328. <https://doi.org/10.15835/nbha53114328> [in English].

Datsko, O., Kovalenko, N., Hotvianska, A., Sologub, I., Bondarenko, O., Hulencko, O., Dubovyk, I., Sakhoshko, M., Davydenko, G., Radchenko, M., & Pidluzhny, E. (2025b). Regenerative farming as a tool to combat climate change. *Modern Phytomorphology*, 19, 117–120 [in English].

Khomenko, T.O., & Tonkha, O.L. (2024). Otsinka biolohichnoi aktyvnosti dernovo-pidzolystoho hruntu za zastosuvannia orhanichnykh tekhnolohii vyroshchuvannia kartopli [Assessment of biological activity of sod-podzolic soil using organic potato growing technologies]. *Naukovi Dopovidi Nacional'noho Universitetu Bioresursiv i Prirodokoristuvannâ Ukraini [Scientific Reports of the National*

University of Bioresources і Nature Management of Ukraine], 2024(1/107). [https://doi.org/10.31548/dopovidi.1\(107\).2024.005](https://doi.org/10.31548/dopovidi.1(107).2024.005) [in Ukrainian].

Li, Y., Wang, J., Tang, J., Wang, E., Pan, Z., Pan, X., & Hu, Q. (2021). Optimum planting date and cultivar maturity to optimize potato yield and yield stability in North China. *Field Crops Research*, 269, 108179. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108179> [in English].

Polovyi, A., Bozhko, L., & Barsukova, E. (2021). The influence of weather conditions on the formation of potato yields in the Western Polesie. *Ecological Sciences*, 36 (3), 104–109. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.3-36.16> [in English].

Thongam, B., Kadam, A. S., Singh, A. A., & Singh, Y. H. (2017). Influence of planting dates on growth and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(6), 1243–1246 [in English].

Vdovenko, S., Poltoretskyi, S., Polishchuk, M., & Verheles, P. (2023). Optimization of the feeding system of seed potatoes growing in the conditions of the forest steppe of the right bank. *Agriculture and Forestry*, 1, 62–73. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2023-1-5> [in English].

Yang, L., Jing, W., Jianzhao, T., Mingxia, H., Huiqing, B., Na, W., & Fuwei, H. (2019). Coupling impacts of planting date and cultivar on potato yield. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 27 (2), 296–304. <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180707> [in English].

Отримано: 30.07.2025

Прийнято: 28.08.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 634.8:551.5:636.6

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.24>

ЗАСТОСУВАННЯ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ ПРЕПАРАТІВ НА ЕТАПІ ВИРОБНИЦТВА ЩЕП ВІНОГРАДУ

Н. М. Зеленянська¹, Т. А. Кунділовська², В. Г. Мавров³

Одним з актуальних напрямів розвитку виноградного розсадництва в Україні є впровадження ефективних методів формування високоякісного щепленого садивного матеріалу, який повинен відповідати вимогам біологічних категорій якості (вихідний, базовий, сертифікований). Особливу увагу під час виготовлення щеп винограду таких категорій слід приділяти стимулюванню регенераційних процесів компонентів – їх калюсо- та ризогенезу. Позитивну роль у цьому напрямі відіграють біологічно активні препарати, які доцільно застосовувати на етапі вимочування компонентів. Метою дослідження є встановлення впливу вимочування прищепних і підщепних чубуків винограду в розчинах сучасних біологічно активних препаратів на процеси калюсо- та ризогенезу.

Під час виконання роботи використовували лабораторні та розрахунково-порівняльні методи. Дослідження проводили на чубуках технічних, столових і підщепних сортів винограду, які вимочували в розчинах препаратів Чаркор, Grandis, Радіфарм, Кеміра, Різопон (0,8%, 1,0%, 2,0%). Оцінювали повноту утворення калюсу, формування та розвиток коренів, у порівнянні з контролем (вимочування компонентів у воді). Результати дослідження показали, що препарати Чаркор і Різопон забезпечували найвищу калюсогенну активність прищепних чубуків. Круговий калюс, по периметру зрізу, формувався у 70–100% чубуків більшості сортів. У підщепних чубуків винограду найвищі показники повноти утворення калюсу по периметру зрізу відмічали після застосування препарату Grandis у сортів Добриня (до 100%), РхР 4923 і БхР Кобера 5ББ (понад 80%). Препарати Чаркор і Різопон також забезпечували стабільно високу калюсогенну реакцію підщепних чубуків, з одночасним зменшенням кількості чубуків без калюсу. У підщепних компонентів біологічно

¹ доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, заступник директора з науково-інноваційної діяльності (Національний науковий центр «Інститут виноградарства і виноробства імені В. Є. Таїрова» НААН України, м. Одеса)

e-mail: natalyanikolaevna2019@ukr.net

ORCID: 0000-0002-9303-8686

² кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри туристичного та готельно-ресторанного бізнесу

(Одеський національний економічний університет, м. Одеса)

e-mail: tatiana.kundilovskii@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3545-7321

³ аспірант

(Національний науковий центр «Інститут виноградарства і виноробства імені В. Є. Таїрова» НААН України, м. Одеса)

e-mail: vg.mavrov@gmail.com

ORCID: 0009-0005-4655-4257

активні препарати, крім високої калюсогенної здатності, сприяли активному формуванню коренів. Після оброблення чубуків препаратом Різопон (2,0%) найбільша кількість коренів (до 20,5 шт.) формувалася у сортів Добриня та РхР 4923. Корені відрізнялися помірною довжиною (3,0–3,5 см), що є перевагою за сучасних способів висаджування щеп у шкільку. У контролі кількість коренів була у 2,2 рази меншою, а їх довжина збільшувалась, у середньому, на 11,3 см. Наукова новизна дослідження полягає в комплексному оцінюванні нових біологічно активних препаратів широкого спектру дії з метою інтенсифікації регенераційних властивостей компонентів щеп нових форм і сортів сучасної селекції винограду. Практична значущість дослідження полягає в розробленні практичних рекомендацій для підвищення ефективності технології щеплення винограду шляхом застосування біологічно активних препаратів із доведеною регенераційною активністю.

Ключові слова: підщепні чубуки, прищепні чубуки, калюсогенез, ризогенез, Чаркор, Різопон, Grandis, Радіфарм, Кеміра.

APPLICATION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES AT THE STAGE OF GRAPE GRAFT PRODUCTION

N. M. Zelenianska, T. A. Kundilovska, V. G. Mavrov

One of the current priorities in the development of grapevine nurseries in Ukraine is the implementation of effective methods for producing high-quality grafted planting material that meets the requirements of biological quality categories (initial, basic, certified). Particular attention in the production of grafted grapevines of such categories should be paid to stimulating the regenerative processes of the components – namely callus and root formation (callusogenesis and rhizogenesis). Biologically active substances play a positive role in this direction and are advisable to use at the stage of soaking the graft components.

The aim of the study was to determine the effect of soaking grape scions and rootstocks in solutions of modern biologically active substances on the processes of callus and root formation. Laboratory and comparative-calculation methods were used in the research. The study was conducted on scions of technical, table, and rootstock grape varieties soaked in solutions of the following substances: Charkor, Grandis, Radifarm, Kemira, and Rhizopon (0.8%, 1.0%, 2.0%). The formation of callus and roots was evaluated in comparison with the control (soaking in water). The results showed that Charkor and Rhizopon provided the highest callus-forming activity in scion cuttings. Circular callus along the cut surface was formed in 70–100% of cuttings of most varieties. Among the rootstock cuttings, the highest completeness of callus formation along the cut perimeter was recorded after applying Grandis for the varieties Dobrynia (up to 100%), RxR 4923, and BxR Kober 5BB (over 80%). Charkor and Rhizopon also ensured a consistently high callus-forming response in rootstock cuttings while reducing the number of cuttings without callus. In rootstock components, biologically active substances, in addition to high callus-forming ability, also promoted active root formation. After treatment with Rhizopon (2.0%), the highest number of roots (up to 20.5 per cutting) was observed in the varieties Dobrynia and RxR 4923. The roots had a moderate length (3.0–3.5 cm), which is an advantage for modern grafting and planting techniques in nurseries. In the control group, the number of roots was 2.2 times lower, while their length increased by an average of 11.3 cm. The scientific novelty of the study lies in the comprehensive evaluation of new biologically active substances with a broad spectrum of action to enhance the regenerative properties of graft components in new grapevine forms and cultivars. The practical significance of the study lies in formulating practical recommendations to improve the efficiency of grapevine grafting technology by using biologically active substances with proven regenerative activity.

Key words: rootstock cuttings, scion cuttings, callusogenesis, rhizogenesis, Charkor, Rhizopon, Grandis, Radifarm, Kemira.

Вступ

Одним із напрямків розвитку виноградного розсадництва в Україні є виробництво садивного матеріалу біологічних категорій якості – *вихідного, базового та сертифікованого*. Досягнути цього можливо шляхом упровадження новітніх технологій і вдосконалення сучасних методів вирощування виноградних саджанців, які забезпечать формування необхідної кілько-

сті стандартних рослин у шкільці. Натепер застосовуються технології, які ґрунтуються на використанні фітогормонів, вологоутримувальних субстратів, гідрогелів, захисних восків, фоторуйнівних плівок і мульчуючих матеріалів (Кучер і Артюх, 2011; Зеленянська і Мандич, 2022). Але крім цього кола технологічних питань, залишається проблема стимулювання природних процесів регенерації тканин підщепних і при-

щепних чубуків винограду – зокрема калюсоутворення, коренеутворення та розвитку пагонів (Власов та ін., 2015). У разі відсутності належної регенерації тканин на етапах стратифікації щеп, їх укорінення в шкільці, подальші технологічні операції втрачають ефективність.

На регенераційні процеси лози винограду впливають як ендогенні (наявність поранення, синтез раньових фітогормонів, асиметрія пагонів, апікальність, полярність, розвиток провідної системи в раньовій тканині), так і екзогенні чинники (температурний режим, вологість повітря, доступність кисню та поживних речовин). Проте реалізація цих чинників, особливо з посиленням ефектом, можлива тільки за умови збереження достатнього рівня вологості в тканинах як підщепних, так і прищепних чубуків перед виготовленням щеп. Адже відомо, що належна водозабезпеченість структурних елементів щепи стимулює інтенсивний перебіг основних фізіолого-біохімічних процесів, зокрема ініціює утворення калюсу, прискорює його розвиток, сприяє формуванню провідних судин у ксилемі, флоемі та розвитку кореневої системи. Оптимальний рівень вологості чубуків перед проведенням щеплення повинен бути на рівні 47–52% (ДСТУ ... , 2016).

Щоб забезпечити оптимальний рівень вологості, у процесі виготовлення виноградних щеп передбачено спеціальний етап – вимочування чубуків. Відповідно до технологічних вимог, прищепні чубуки вимочують у воді протягом 12–16 годин, підщепні – від 2 до 5 діб. Порушення цих режимів, застосування неякісної або надто холодної води може негативно вплинути на стратифікацію щеп, зрощування їх компонентів та на формування і розвитку кореневої системи. З огляду на це на цьому етапі доцільним є використання екзогенних біологічно активних препаратів (БАП), які активізують утворення калюсної тканини на апікальних і базальних частинах чубуків і в місцях з'єднання компонентів щеп.

У сучасній практиці виноградного розсадництва для вимочування компонентів щеп, а також для оброблення базальних та апікальних частин, рекомендується застосовувати екзогенно введені біологічно активні речовини. До них належать вітаміни, органічні й амінокислоти, цукри, фітогормони, зокрема індол-3-масляна кислота (ІМК), індоліл-3-оцтова кислота (ІОК), α -нафтилоцтова кислота (α -НОК), гібереліни, а також

інші стимулюючі сполуки (Зеленянська та ін., 2004; Кучер і Артюх, 2009; Кучер та ін., 2012). Однак використання таких речовин супроводжується низкою недоліків, які можуть знижувати загальну ефективність виробничих процесів. Зокрема, під час приготування робочих розчинів необхідно ретельно дотримуватися рекомендованого дозування, уникати впливу інтенсивного освітлення та забезпечувати відповідні умови освітлення під час застосування, оскільки під дією прямих сонячних променів активність препаратів значно знижується. Це може звести нанівець очікуваний ефект або навіть спричинити небажаний, негативний вплив. Крім того, з усього переліку вищенаведених речовин на вітчизняному ринку наявний лише гетероауксин у формі ІОК або її калієвої солі, які мають менш виражені калюсо- та ризогенні властивості порівняно з ІМК та α -НОК.

Зважаючи на це, все більшого значення набувають біологічно активні препарати (БАП) широкого спектру дії. Це комплексні, стабілізовані препарати, до складу яких входять фітогормони, складні вуглеводи, білки, стероїдні глікозиди, вільні амінокислоти, вітаміни, макро- та мікроелементи. Аналіз літературних джерел показав, що їх успішно застосовують для укорінення троянд (Корневін, Фульвогумін, Кеміра, Грандіс, Різопон) (Скоропляс, 2016; Іващенко та ін., 2021; Безвіконний та ін., 2023), актинідії (Чаркор, Корневін) (Кімейчук і Києнко, 2023), смородини чорної (Чаркор) (Горбась, 2019), маточних рослин жимолості (Репоплант, Стимпо) (Запольський та ін., 2019), різних видів ірги (Чаркор, Корневін) (Андрієнко та ін., 2019), хризантем (Кеміра, Грандіс, Різопон) (М'ялковський і Безвіконний, 2023) та інших рослин. Однак слід зазначити, що в науковій літературі практично відсутні дані щодо їх впливу на калюсогенез живців, щеп багаторічних культур.

Біологічно активні препарати широкого спектру дії представляють теоретичний та практичний інтерес і для виноградного розсадництва. Актуальними залишаються питання їх застосування на етапі вимочування компонентів щеп із подальшим вивченням впливу на калюсо-, ризогенез підщепних і прищепних чубуків винограду та апробації такого технологічного прийому у виробничих умовах. Крім того, нині відсутня науково обґрунтована інформація щодо ефективності застосування таких БАП у технологіях вирощування щеплених

саджанців винограду вітчизняних сортів сучасної селекції.

З огляду на вищенаведене метою нашої роботи було встановити вплив вимочування прищепних і підщепних чубуків винограду в розчинах сучасних біологічно активних препаратів на процеси їх калюсо- та ризогенезу.

Матеріал та методи

Робота виконувалась у Національному науковому центрі «Інститут виноградарства і виноробства імені В. Є. Таїрова» НААН України у відділі розсадництва, розмноження і біотехнології винограду протягом 2023–2025 років.

Матеріалом для роботи були одновічкові прищепні чубуки винограду технічних (Селена, Мускат одеський, Загрей), столових (Калісто, Оригінал, Кишмиш таїровський) сортів винограду та тривічкові чубуки підщепних сортів винограду (Ріпарія х Рупестріс 4923 (РхР 4923), Берландієрі х Ріпарія Кобера 5ББ (БхР Кобера 5ББ), Берландієрі х Ріпарія СО4 (БхР СО4), Добриня).

Вимочування прищепних компонентів у розчинах біологічно активних препаратів проводили протягом 16 годин, підщепних – протягом 24 годин. Стратифікували чубуки в термостаті за температури 28–30°C протягом 21 доби.

Схема дослідження була такою:

Варіант	1	–	Чаркор	0,1%;
Варіант	2	–	Grandis®	0,01%;
Варіант	3	–	Радіфарм	0,25%;
Варіант	4	–	Кеміра	0,2%;
Варіант	5	–	Різопон	0,8%;
Варіант	6	–	Різопон	1,0%;
Варіант	7	–	Різопон	2,0%;
Варіант	8	–	Вода	(контроль).

Концентрації робочих розчинів препаратів були визначені з урахуванням рекомендацій виробників та попередніх рекогносцирувальних досліджень.

Характеристика препаратів, які використовували в роботі:

Чаркор – комплекс біологічно-активних речовин, до складу якого входить комплекс 2.6-диметилпіридин-1-оксиду з α -нафтил-оцтовою кислотою, продукти життєдіяльності грибів-мікроміцетів, насичені й ненасичені жирні кислоти (C₁₄-C₂₈), полісахариди, амінокислоти.

Радіфарм – комплексний рослинний препарат, до складу якого входять полісахариди, поліпептиди, стероїдні глікозиди, вільні амінокислоти і бетаїн, комплекс вітамінів, хелат заліза.

Grandis – препарат для укорінення рослин, до складу якого входять індоліл-3-масляна кислота, амінокислоти, вітаміни.

Різопон – препарат для укорінення рослин, до складу якого входять індоліл-3-масляна кислота, α -нафтил-оцтова кислота, індоліл-3-оцтова кислота.

Кеміра – біоукорюювач, до складу якого входять азот, фосфор, калій, фенілаланін, цинк, мікроелементи, вітаміни, амінокислоти.

У процесі дослідження визначали інтенсивність і повноту утворення калюсної тканини на копуляційних зрізах компонентів щеп винограду (%), кількість коренів (шт.) та їх довжину (см).

Результати та їх обговорення

Утворення суцільного кільця калюсної тканини по периметру зрізів прищепних і підщепних компонентів свідчить про активний перебіг регенераційних процесів у зоні їх з'єднання та потенційно гарантує формування якісних щеп із добре розвинутою судинно-провідною системою.

Отримані експериментальні результати свідчать про те, що інтенсивність формування кругового калюсу на косих зрізах чубуків технічних і столових сортів винограду значною мірою залежало від використаних біологічно активних препаратів та сортових особливостей (табл. 1).

Найбільше чубуків для обох груп сортів із круговим калюсом було одержано після застосування препаратів Чаркор і Різопон у концентраціях 1,0 та 2,0%. У цих варіантах, у середньому за сортами, від 70 до 100% чубуків характеризувалися круговим калюсом.

У технічних сортів найвищим рівнем калюсогенної здатності тканини чубуків характеризувалися сорти Мускат одеський і Загрей після використання препаратів Чаркор (Мускат одеський, Загрей – 100%) і Різопон 1,0 та 2,0% концентрацій (Мускат одеський – 100%, Загрей – 88,2%), що свідчить про їх високий стимулюючий калюсогенний ефект для цих сортів. У контрольних варіантах після вимочування чубуків у воді цей показник (кількість чубуків із круговим калюсом) знаходився на рівні від 0,0 до 25,0% (рис. 1).

Згідно з даними, наведеними в табл. 1, найнижчою регенераційною здатністю характеризувалися чубуки сорту Селена – у контрольному варіанті чубуки з круговим калюсом на поверхні зрізу були відсутні. Після застосування препарату Різопон най-

Таблиця 1

Вплив БАП на калюсогенез прищепних чубуків винограду технічних і столових сортів (середнє за 2023–2025 рр.)

Сорти винограду	Повнота утворення калюсу, %			
	круговий	3/4	1/2	відсутній
<i>Чаркор</i>				
Селена	18,8	50,0	6,3	25,0
Мускат одеський	100,0	0	0	0
Загрей	100,0	0	0	0
Калісто	100,0	0	0	0
Кишмиш таїровський	87,5	0	12,5	0
Оригінал	83,3	0	16,7	0
<i>Grandis</i>				
Селена	25,0	12,5	18,8	43,8
Мускат одеський	56,3	25,0	0	18,8
Загрей	45,0	20,0	35,0	0
Калісто	41,2	0	35,3	23,5
Кишмиш таїровський	34,8	26,1	0	39,1
Оригінал	76,9	0	23,1	0
<i>Радіфарм</i>				
Селена	12,5	18,8	12,5	56,3
Мускат одеський	33,3	0	20,0	46,7
Загрей	16,7	0	33,3	50,0
Калісто	31,3	31,3	12,5	25,0
Кишмиш таїровський	9,1	22,7	50	18,2
Оригінал	57,1	21,4	0	21,4
<i>Кеміра</i>				
Селена	17,6	0	0	82,4
Мускат одеський	11,8	5,9	11,8	70,6
Загрей	0	19,0	9,58	66,7
Калісто	25,0	18,8	6,3	50,0
Кишмиш таїровський	8,3	12,5	20,8	58,3
Оригінал	46,2	0	15,4	38,5
<i>Різопон (0,8%)</i>				
Селена	52,9	23,5	23,5	0
Мускат одеський	46,7	20,0	20,0	13,3
Загрей	57,9	26,3	0	15,9
Калісто	47,1	29,4	11,8	11,8
Кишмиш таїровський	41,7	0	12,5	45,8
Оригінал	100	0	0	0
<i>Різопон (1,0%)</i>				
Селена	52,9	11,8	17,6	17,6
Мускат одеський	100,0	0	0	0
Загрей	88,2	11,8	0	0
Калісто	75,0	12,5	0	12,5
Кишмиш таїровський	36,4	22,7	0	40,9

Продовження таблиці 1

Сорти винограду	Повнота утворення калючу, %			
	круговий	3-4	1/2	відсутній
Оригінал	100	0	0	0
<i>Різопон (2,0%)</i>				
Селена	64,7	29,4	0	5,9
Мускат одеський	73,3	0	20,0	6,7
Загрей	73,7	26,3	0	0
Калісто	82,4	0	0	17,6
Кишмиш таїровський	75,0	4,2	0	20,8
Оригінал	100,0	0	0	0
<i>Контроль (вода)</i>				
Селена	0	0	0	0
Мускат одеський	25,1	15,0	15,0	45,0
Загрей	0	15,0	15,0	70,0
Калісто	23,5	11,8	11,8	52,9
Кишмиш таїровський	0	0	0	0
Оригінал	39,2	0	10,0	50,8



Загрей, Контроль



Загрей, Різопон (1,0%)



Мускат одеський, Чаркор



Селена, Різопон (2,0%)

Рис. 1. Вплив БАП на утворення калюсної тканини на копуляційних зрізах прищепних чубуків винограду технічних сортів

більшій концентрації кількість чубуків із рівномірним круговим калюсом збільшувалась майже до 65,0%.

Середній рівень стимулюючої калюсогенної активності проявляли препарати Різопон у меншій концентрації (0,8%) та Grandis. Препарати Кеміра і Радіфарм характеризувалися низькою здатністю до утворення кругового калюсу. Аналогічну залежність калюсогенезу від дії БАП було встановлено і для столових сортів винограду. Найкращі показники утворення калюсу були отримані після застосування Чаркору та Різопону, зокрема для сорту Оригінал. У сортів Кишмиш таїровський, форми Калісто калюсогенез був на рівні 75,0–82,4%. Препарати Grandis, Кеміра і Радіфарм продемонстрували меншу стимулюючу дію, що вказує на необхідність підбору препаратів відповідно до кожного сорту.

Контрольні варіанти, в яких біологічно активні препарати для вимочування компонентів не застосовували, мали найнижчі показники утворення кругового калюсу, що підтверджує доцільність використання БАП під час вимочування компонентів щеп (табл. 1).

Отже, прищепні чубуки винограду технічних і столових сортів, які вимочували у водних розчинах БАП – Різопон, Чаркор та Grandis (частково, для окремих сортів), активніше утворювали раньову тканину на поверхні копуляційних зрізів у порівнянні з контрольними варіантами. І це логічно пояснюється. БАП, створені на основі ауксинів (Різопон, Чаркор, Grandis), здатні активувати поділ паренхімних клітин камбіального шару та сприяти інтенсивному формуванню калюсу. Підвищення концентрації препаратів (для прикладу Різопон до 2,0%) посилювало цей ефект. Це узгоджується з отриманими результатами наших досліджень. Натомість препарати загального стимулюючого типу, до складу яких входять переважно поживні речовини і які не містять специфічних фітогормонів (наприклад, Кеміра, Радіфарм), характеризувалися меншою ефективністю щодо для інтенсифікації регенерації.

Згідно з фізіологічними особливостями підщепної лози винограду, як-от верхівковість, дорзівентральність, підщепні компоненти утворюють значно пізніше раньову тканину на апікальних частинах, ніж прищепні. Тому застосування БАП повинно стимулювати цей процес і зменшувати різницю в часі щодо утворення калюсу на прищепі

й підщепі. Після вимочування підщепних компонентів у водних розчинах БАП було встановлено, що інтенсивність утворення кругового калюсу на копуляційних зрізах виноградних щеп значною мірою залежала як від типу препарату, який застосовували, так і від біологічних особливостей сорту (рис. 2).

Найбільша кількість чубуків, які характеризувалися круговим калюсом, була після застосування препарату Grandis. Він забезпечував формування суцільного калусного кільця у 100% чубуків сорту Добриня, у 80,5–95,0% – у сортів БхР Кобера 5ББ та РхР 4923, 54,5% – у сорту БхР СО4.

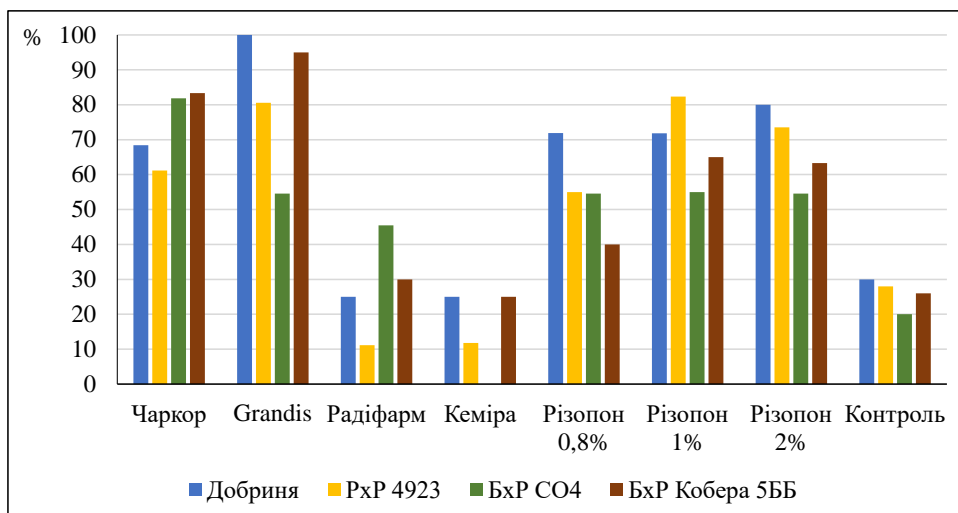
Суттєвий позитивний ефект також було відмічено і після застосування препаратів Чаркор, Різопон 1% та 2%. Так, Чаркор сприяв утворенню кругового калюсу на копуляційних зрізах підщепних чубуків на 61,0–83,0%, що вказує на його стабільну ефективність після використання на різних підщепах. Різопон також забезпечував високу частку кругового калюсоутворення чубуків у всіх варіантах: у РхР 4923 – 82,4%, у БхР Кобера 5ББ – 65,0%, у Добрині – 80,0% та у РхР 4923 – 73,5%.

Препарати Чаркор, Grandis та Різопон виявилися також найбільш ефективними у зниженні частки чубуків, в яких калюсна тканина взагалі не утворювалася. Кількість таких чубуків була у межах від нуля до 9,0%, тоді як у контролі – це 44,0–54,0%.

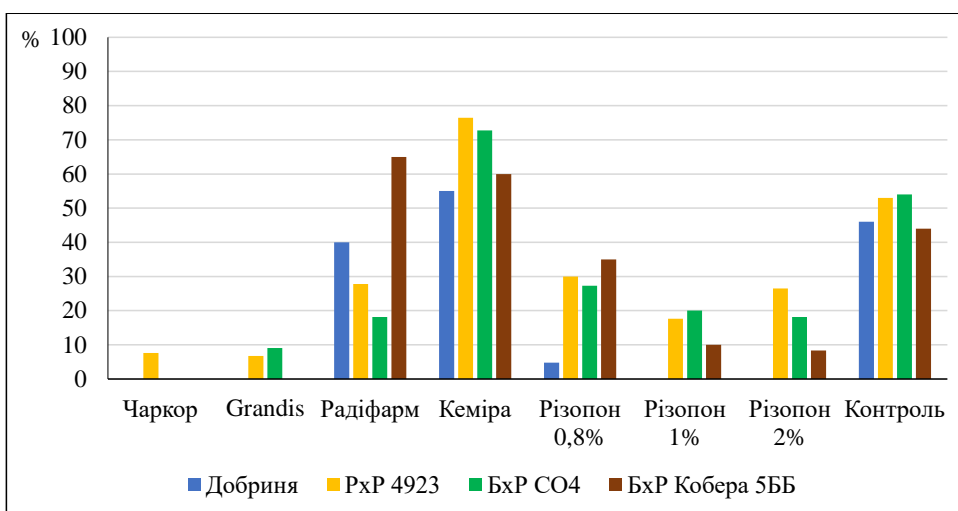
Препарати Кеміра та Радіфарм проявили найнижчу ефективність, особливо у варіантах з РхР 4923 (11,0–12,0%) та Кобера 5ББ (25,0–30,0%). Отримані показники були на рівні контрольних і менші.

У контрольному варіанті без стимуляторів рівень утворення кругового калюсу залишався найнижчим – від 20,0% до 30,0%, що підтверджує необхідність застосування біологічно активних речовин для посилення регенераційних процесів у зоні щеплення.

Отже, отримані результати дослідження свідчать, що на повноту калюсоутворення підщепних компонентів винограду так само суттєво впливали БАП та сортові особливості підщеп. Серед досліджуваних препаратів найвищою ефективністю характеризувався препарат Grandis. Він забезпечував максимальне (100%) утворення кругового калюсу в сорту Добриня та високі показники (від 80,0 до 95,0%) на інших сортах – РхР 4923 та БхР Кобера 5ББ. Препарат Різопон також проявляв високу ефективність після застосування робочих розчинів усіх концен-



I



II

Рис. 2. Вплив БАП на калюсогенез підщепних чубуків винограду (середнє за 2023–2025 рр.) I – кругове утворення калюсу по периметру копуляційного зрізу II – відсутність калюсу по периметру копуляційного зрізу

трацій. Такий ефект зумовлений, ймовірно, вмістом фітогормонів ауксинової природи в препараті, що стимулюють активний поділ клітин камбію та посилюють регенераційні процеси. Препарати Кеміра та Радіфарм, що не містять специфічних стимуляторів утворення калюсу, показали найнижчі результати (від 0 до 45,5%), подекуди навіть нижчі за контроль.

Для успішного формування якісних щеп винограду та щеплених саджанців після вирощування у шкільці важливим показником є не тільки калюсоутворювальна здатність компонентів, але і ризогенні властивості підщеп.

З огляду на це були проведені лабораторні дослідження впливу БАП, які застосовували для вимочування компонентів, на утворення коренів у різних підщеп винограду.

За контрольними значеннями (вимочування підщепних компонентів у воді) визначали ризогенну здатність різних підщеп без урахування впливу препаратів (рис. 3).

У результаті дослідження було встановлено, що підщепи Добриня, РхР 4923 характеризувалися найвищою ризогенною здатністю, підщепи БхР Кобера 5 ББ – середньою ризогенною здатністю, підщепи БхР СО4 – низькою ризогенною здатністю.

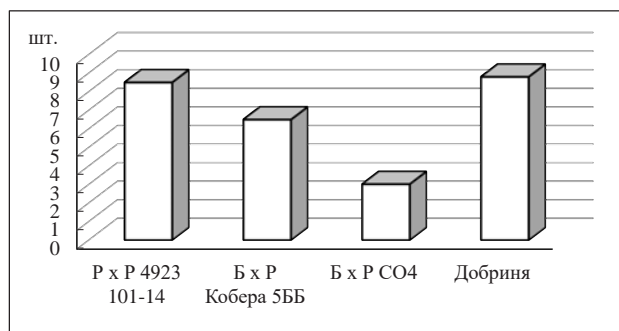


Рис. 3. Різогенна здатність підщепних чубуків винограду після вимочування у воді (середнє за 2023–2025 рр.)

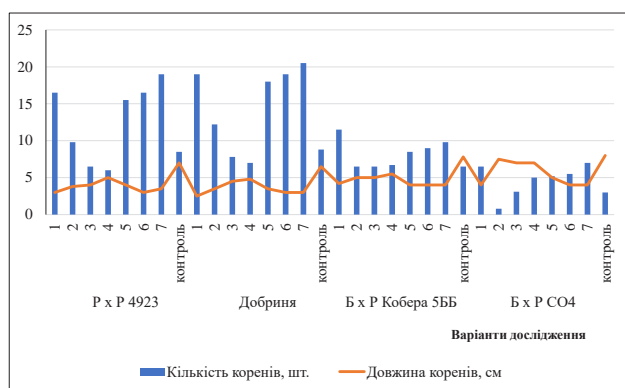


Рис. 4. Вплив БАП на різогенез підщепних чубуків винограду (середнє за 2023–2025 рр.)

Через 30 діб по кожному препарату і сорту підщеп було проведено обліки розвитку коренів і встановлено, що після вимочування чубуків у препаратах, які вивчали, утворення коренів починалося на 5–7 днів раніше, ніж у контролі. Чубуки відрізнялися більшою кількістю коренів та зменшенням їх довжини (залежно від препарату, який застосовували) (рис. 4).

Найбільша кількість коренів у всіх підщеп формувалася після застосування препарату Різопон 2,0%. Це було добре виражено в сортів Добриня (20,5 шт.) та РхР 4923 (19,0 шт.) (рис. 5).

Аналогічні результати впливу БАП на укорінення здерев'янілих чубуків були отримані під час розмноження хризантеми корейської та троянди зморшкуватої після застосування препаратів Різопон, Кеміра, Корневін (укорінювач ауксинової групи) (М'ялковський і Безвіконний, 2023; Безвіконний та ін., 2023). Автори довели, що вказані БАП сприяли формуванню розгалуженої кореневої системи живців.



БхР СО4

Добриня

Препарат Чаркор



РхР 4923

Добриня

Препарат Різопон, 2,0%



РхР 4923

Контроль

Рис. 5. Вплив БАП на різогенез та калюсогенез підщепних чубуків винограду

У чубуків відповідних контрольних варіантів кількість коренів зменшувалась у 2,2–2,3 раза, або на 10,5–11,7 шт. Стабільно високі результати за даним показником було відмічено і для чубуків варіантів, у яких використовували препарат Різопон нижчих концентрацій (0,8 та 1,0%).

Подібну закономірність за розвитком коренів підщепних чубуків винограду було встановлено і для препарату Чаркор, що узгоджується з науковими результатами, отриманими для різних видів актинідії, смородинової чорної та ірги (Андрієнко та ін., 2019; Горбась, 2019; Кімейчук і Києнко, 2023).

Для успішного укорінення щеп у шкілці важливим є не тільки утворення достатньої кількості коренів, але й формування коренів помірної довжини. Згідно з отриманими результатами, дослідження застосування БАП сприяло інтенсифікації формування

коренів, але довжина коренів при цьому зменшувалась, що з агротехнічної точки зору є перевагою. Короткі, добре розвинені корені менше травмуються під час висаджування і забезпечують швидке укорінення у шкільці. Найоптимальніші, з технологічного погляду, результати за цим показником було отримано після застосування Різопону 2,0%, Чаркору на підщепах Добриня і РхР 4923, де поєднувались помірна довжина (3,0–3,5 см) з великою кількістю коренів (19,0–20,5 шт.).

Висновки

За результатами проведеного дослідження встановлено, що утворення калюсу по периметру копуляційного зрізу чубуків технічних, столових і підщепних сортів винограду залежало від біологічно активних препаратів, які використовували для вимочування компонентів та від їх сортових особливостей.

Для прищепних чубуків винограду найвищу ефективність щодо інтенсифікації кругового калюсоутворення проявляли препарати Чаркор та Різопон у концентраціях 1,0 і 2,0%. Після їх застосування в більшості сортів (Мускат одеський, Загрей, Оригінал, Калісто) круговий калюс формувался у 70,0–100% чубуків. Помірну ефективність проявляли препарати Grandis і Різопон 0,8%. Препарати Радіфарм та Кеміра характеризувалися найнижчою стимулюючою дією, інколи поступаючи навіть контрольним варіантам. Високу чутливість до дії БАП було встановлено для сортів Мускат одеський, Загрей та Оригінал, в яких засто-

сування ефективних препаратів забезпечувало стовідсоткове утворення кругового калюсу; сорт Кишмиш таїровський та столова форма Калісто характеризувалися низькою реакцією на оброблення БАП.

Для підщепних чубуків винограду найвищу ефективність щодо інтенсифікації кругового калюсоутворення проявляв препарат Grandis, який забезпечував утворення кругового калюсу на рівні 80,6–100% у сортів Добриня і РхР 4923 та 95,0% у сорту Кобера 5ББ. Після застосування препаратів Різопон (особливо в концентрації 1,0%) та Чаркор круговий калюс утворювався у 81,8–83,3% підщепних чубуків, що так само підтверджує доцільність їх використання в практиці виноградного розсадництва.

Біологічно активні препарати позитивно впливали і на формування коренів у підщепних компонентів винограду. Найбільшу їх кількість було відмічено після вимочування компонентів у розчині препарату Різопон 2,0% концентрації: кількість коренів збільшувалась у середньому у 2–3 рази (від 6,0–9,0 шт. у контролі до 15,0–20,0 шт. у дослідних варіантах), при цьому довжина коренів зменшувалась. Це вказує на формування більш розгалуженої кореневої системи, що може підвищувати адаптивність і приживлюваність чубуків у шкільці. Інші препарати (Чаркор, Grandis, Радіфарм, Кеміра) також сприяли збільшенню кількості коренів порівняно з контролем, однак у меншій мірі.

Список використаної літератури

- Андрієнко О.Д., Опалко А.І., Опалко О.А. Особливості розмноження стебловими живцями інтродукованих представників роду *Amelanchier* Medik. *Біологія та екологія*. 2019. Том 5. № 1. С. 9–12. <https://doi.org/10.33989/2414-9810.2019.5.1.195109>.
- Безвіконний П.В., Тарасюк В.А., Потапський Ю.В. Вплив біостимуляторів росту на укорінення зелених живців троянди зморшкуватої в умовах захищеного ґрунту. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 130. С. 11–16. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2023.130.2>.
- Горбась С.М. Дія регуляторів росту рослин під час розмноження смородини чорної (*Ribes Nigrum* L.). *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 109. С. 22–26. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.109-1.4>.
- ДСТУ 4390:2005. Саджанці винограду та чубуки виноградної лози. Технічні умови. [Чинний від 1 квітня 2006 р.]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 14 с.
- Запольський Я.С. Медведєва Т.В., Натальчук Т.А., Китаєв О.І., Бублик М.О. Вплив обробки маточних рослин жимолості фізіологічно активними речовинами на функціональний стан листкової пластинки / Я.С. Запольський та ін. *Досягнення та концептуальні напрями вирощування малопоширених плодово-ягідних культур та переробки їх сировини* : зб. матеріалів І всеукр. наук.-практ. конф. Київ, 2019. С. 69–72.
- Зеленянська Н.М., Кучер Г.М., Новицька-Боровська Н.А. Вплив препарату Реаком на фізіологічно-біохімічні і регенераційні процеси в тканинах лози підщепних сортів винограду. *Вісник аграрної науки Південного регіону*. 2004. Вип. 5. С. 221–228.

Зеленянська Н.М., Мандич О.М. Удосконалення етапу вимочування компонентів щеп винограду на основі застосування суспензії живої хлорели. *Таврійський науковий вісник*. 2022. № 126. С. 51–60. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.126.8>.

Іващенко І.Є., Адаменко С.А., Масловата С.А., Жияк І.Д. Вплив мікродобрива фульвогумін на укорінення троянд сорту Mildred scheel чайно-гібридної групи. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. Т. 31. № 4. С. 22–26. <https://doi.org/10.36930/40310403>.

Кімейчук І.В., Киенко З.Б. Особливості вегетативного розмноження рослин роду *Actinidia* Lind. з використанням регуляторів росту. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2023. № 1. С. 49–58. <https://doi.org/10.32782/2310-0478-2023-1-49-58>.

Кучер Г.М., Артюх М.М. Ефективні засоби підвищення адаптаційних властивостей щеп винограду у шкільці. *Виноградарство і виноробство*. 2009. Вип. 46 (1). С. 44–49.

Кучер Г.М., Артюх М.М. Ефективність застосування фізіологічно активних речовин в технології розмноження винограду. *Інноваційні технології в розвитку столового виноградарства : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і спеціалістів, м. Одеса, 30 серпня 2011 р. Одеса, 2011. С. 62–68.*

Кучер Г.М., Артюх М.М., Нікульча Є.В. Ефективність застосування мікродобрива Сізам на технологічних етапах виробництва саджанців винограду. *Виноградарство і виноробство*. 2012. Вип. 49. С. 101–106.

М'ялковський Р.О., Безвіконний П.В. Вплив біостимуляторів росту на укорінення живців хризантеми корейської в умовах захищеного ґрунту. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 130. С. 107–114. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2023.130.16>.

Система сертифікованого виноградного розсадництва України : монографія / В.В. Власов та ін. Київ : Аграрна наука, 2015. 288 с.

Скоропляс І. Живцювання троянд на різних субстратах в умовах Кременецького ботанічного саду. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки*. 2016. № 7. С. 54–59.

References

Andriienko, O.D., Opalko, A.I., & Opalko, O.A. (2019). Osoblyvosti rozmnozhennia steblovymy zhyvtsiamy introdukovanykh predstavnykiv rodu *Amelanchier* Medik [Peculiarities of reproducing stem cuttings of the introduced representatives of the genus *Amelanchier* Medik]. *Biologhiia ta ekolohiia* [Biology and Ecology], 5 (1), 9–12. <https://doi.org/10.33989/2414-9810.2019.5.1.195109> [in Ukrainian].

Bezvikonnyi, P.V., Tarasiuk, V.A., & Potapskyi, Yu.V. (2023). Vplyv biostymulatoriv rostu na ukorinennia zelenykh zhyvtsiv troiandy zmorshkuvatoi v umovakh zakhyshchenoho ґruntu [The influence of growth bio-stimulators on the rooting of green roots of wrinkled rose in protected soil conditions]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk* [Taurida Scientific Herald], 130, 11–16. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2023.130.2> [in Ukrainian].

Horbas, S.M. (2019). Diia rehulatoriv rostu roslyn pid chas rozmnozhennia smorodyny chornoj (*Ribes nigrum* L.) [The influence of plant growth regulators on black currant reproduction (*Ribes nigrum* L.)]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk* [Taurida Scientific Herald], 109, 22–26. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.109-1.4> [in Ukrainian].

DSTU 4390:2005. (2005). *Sadzhanets vynohradu ta chubuky vynohradnoi lozy. Tekhnichni umovy* [Grape seedlings and vine cuttings. Specifications] (valid from April 1, 2006). Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian].

Zapolskyi, Ya.S., Medvedieva, T.V., Natalchuk, T.A., Kytaiev, O.I., & Bublyk, M.O. (2019). Vplyv obrobky matochnykh roslyn zhymolosti fiziologichno aktyvnymy rehovynamy na funktsionalnyi stan lystkovoї plastynky [Effect of treating honeysuckle mother plants with physiologically active substances on the functional state of the leaf blade]. *Dosiahnennia ta kontseptualni napriamy vyroshchuvannia maloposhyrenykh plodovo-yahidnykh kultur ta pererobky yikh syrovyny* [Achievements and conceptual directions for the cultivation of rare fruit and berry crops and the processing of their raw materials]. Kyiv, pp. 69–72 [in Ukrainian].

Zelenianska, N.M., Kucher, H.M., & Novytska-Borovska, N.A. (2004). Vplyv preparatu reakom na fiziologo-biokhimichni i reheneratsiini protsesy v tkanynakh lozy pidshchepnykh sortiv vynohradu [Effect of Reacom preparation on physiological, biochemical and regeneration processes in vine tissues of grape rootstock varieties]. *Visnyk ahrarnoi nauky Pivdennoho rehionu* [Bulletin of Agrarian Science of the Southern Region], 5, 221–228 [in Ukrainian].

Zelenianksa, N.M., & Mandych, O.M. (2022). Udoskonalennia etapu vymochnuvannia komponentiv shchep vynuhradu na osnovi zastosuvannia suspenzii zhyvoi khlorely [The improvement of the stage of grape graft components soaking based on the application of live chlorella suspension]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Taurida Scientific Herald]*, 126, 51–60. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.126.8> [in Ukrainian].

Ivashchenko, I.Ye., Adamenko, S.A., Maslovata, S.A., & Zhylyak, I.D. (2021). Vplyv mikrodobryva fulvohumin na ukorinennia troiand sortu Mildred Scheel chaino-hibrydnoi hrupy [Influence of Fulvogumin microfertilizer on rooting of Mildred Scheel rose of the tea-hybrid group]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of UNFU]*, 31 (4), 22–26. <https://doi.org/10.36930/40310403> [in Ukrainian].

Kimeichuk, I.V., & Kyienko, Z.B. (2023). Osoblyvosti vehetatyvnoho rozmnozhennia roslin rodu *Actinidia* Lindl. z vykorystanniam rehulatoriv rostu [Features of vegetative propagation of plants of the genus *Actinidia* Lindl. using growth regulators]. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva [Bulletin of Uman National University of Horticulture]*, 1, 49–58. <https://doi.org/10.32782/2310-0478-2023-1-49-58> [in Ukrainian].

Kucher, H.M., & Artiukh, M.M. (2009). Efektyvni zasoby pidvyshchennia adaptatsiinykh vlastyvostei shchep vynuhradu u shkiltsi [Effective means of increasing adaptive properties of grape grafts in the nursery]. *Vynohradarstvo i vynorobstvo [Viticulture and Winemaking]*, 46 (1), 44–49 [in Ukrainian].

Kucher, H.M., & Artiukh, M.M. (2011). Efektyvnist zastosuvannia fiziologichno aktyvnykh rehovyn v tekhnologii rozmnozhennia vynuhradu [Effectiveness of the use of physiologically active substances in grape propagation technology]. *Innovatsiini tekhnologii v rozvytku stolovoho vynuhradarstva: materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistiv [Innovative technologies in the development of table viticulture: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists]*. Odesa, pp. 62–68 [in Ukrainian].

Kucher, H.M., Artiukh, M.M., & Nikulcha, Ye.V. (2012). Efektyvnist zastosuvannia mikrodobryva Sizam na tekhnologichnykh etapakh vyrobnytstva sadzhantsiv vynuhradu [Effectiveness of the use of Sizam micronutrient fertilizer at technological stages of grape seedling production]. *Vynohradarstvo i vynorobstvo [Viticulture and Winemaking]*, 49, 101–106 [in Ukrainian].

Mialkovskiy, R.O., & Bezzikovnyi, P.V. (2023). Vplyv biostymulatoriv rostu na ukorinennia zhyvtsiv khryzantemy koreiskoi v umovakh zakhyshchenoho gruntu [The influence of growth bio-stimulators on the rooting of roots of Korean chrysanthemum in protected soil conditions]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Taurida Scientific Herald]*, 130, 107–114. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2023.130.16> [in Ukrainian].

Vlasov, V.V. (ed.) (2015). *Systema sertyfikovanoho vynuhradnoho rozsadnytstva Ukrainy [System of certified grapevine nursery production in Ukraine]* (monograph). Kyiv : Ahrarna nauka [in Ukrainian].

Skoroplias, I. (2016). Zhyvtsovannia troiand na riznykh substratakh v umovakh Kremenetskoho botanichnoho sadu [Rooting of roses on different substrates under conditions of the Kremenets Botanical Garden]. *Naukovyi visnyk Skhidnoevropeiskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky [Lesya Ukrainka Volyn National University]*, 7, 54–59 [in Ukrainian].

Отримано: 29.07.2025

Прийнято: 02.09.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 634.11:631.582:631.526
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.25>

ВПЛИВ УМОВ ЗВОЛОЖЕННЯ, БІОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ГІБРИДІВ І ГУСТОТИ СТОЯННЯ РОСЛИН НА ВМІСТ СИРОГО ПРОТЕЇНУ В ЗЕРНІ КУКУРУДЗИ

М. О. Іванів¹, О. В. Сидякіна², Є. А. Гамула³

Вплив гібридного складу та густоти стояння рослин на показники якості зерна кукурудзи є актуальним питанням як з огляду на наукове обґрунтування, так і щодо практичного впровадження в сучасне аграрне виробництво. Метою дослідження є оцінювання впливу густоти стояння рослин на вміст сирого протеїну в зерні гібридів кукурудзи різних груп стиглості (ФАО) в умовах Північного Степу України. Польові дослідження проводили протягом 2022–2024 рр. на дослідному полі ТОВ «Агротехнологія-Плюс», що знаходиться в Кропивницькому районі Кіровоградської області. Вивчали сім гібридів марки DEKALB з ФАО від 310 до 420 (ДКС 4098, ДКС 4109, ДКС 4391, ДКС 4598, ДКС 4712, ДКС 5075, ДКС 5206) за восьми рівнів густоти стояння рослин – від 55 до 110 тис./га.

У фазах 3–5 та 7–9 листків проводили позакореневі підживлення мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза. У дослідженнях застосовано польовий, лабораторний, математичний і статистичний методи для оцінювання взаємодії між генотипом, густрою стояння рослин і екологічними чинниками.

Встановлено, що вирішальним фактором, який впливає на вміст сирого протеїну в зерні кукурудзи, є погодні умови року вирощування. Найвищу концентрацію сирого протеїну в зерні визначено в помірно посушливому 2023 р. (у середньому 7,75%), а найнижчу – у 2024 р. (7,16%), який характеризувався гострим дефіцитом вологи у критичні фази росту й розвитку. Серед досліджуваних гібридів найвищі й найбільш стабільні показники білковості зерна формував гібрид ДКС 4391 (ФАО 350), з максимумом 8,45% у 2023 р. за густоти стояння рослин 80 тис./га. Загалом, оптимальне накопичення сирого протеїну в зерні спостерігали за щільності посівів 75–80 тис./га. Зниження густоти стояння рослин (≤ 60 тис./га) або надмірне замушення посівів (≥ 90 тис./га) призводило до зниження білковості зерна, що свідчить про обмеження як ресурсного, так і алелопатичного характеру.

¹ кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
в.о. завідувача кафедри рослинництва та агроінженерії
(Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Кропивницький)
e-mail: ivaniv_m@ksaeu.kherson.ua
ORCID: 0000-0002-4793-6194

² кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри рослинництва та агроінженерії
(Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Кропивницький)
e-mail: sydiakina_o@ksaeu.kherson.ua
ORCID: 0000-0001-8812-6078

³ здобувач наукового ступеня доктора філософії
(Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Кропивницький)
e-mail: gamula2204@gmail.com
ORCID: 0009-0007-5214-7599

Отримані результати підтверджують суттєвий вплив генотипу та густоти стояння рослин на якість зерна кукурудзи, особливо за контрастних гідротермічних умов. Одержані дані можуть бути використані для оптимізації технологій вирощування кукурудзи з метою стабілізації показників якості зерна в умовах кліматичних змін та економічної нестабільності.

Ключові слова: кукурудза, гібриди, ФАО, сирий протеїн, якість зерна, густина стояння рослин, умови зволоження, посуха.

INFLUENCE OF MOISTURE CONDITIONS, BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF HYBRIDS, AND PLANT DENSITY ON CRUDE PROTEIN CONTENT IN MAIZE GRAIN

M. O. Ivaniv, O. V. Sydiakina, Ye. A. Hamula

The influence of hybrid composition and plant density on maize grain quality parameters remains a relevant issue both from the standpoint of scientific justification and for its practical implementation in modern agricultural production. The aim of the study was to evaluate the effect of plant density on the crude protein content in the grain of maize hybrids of different maturity groups (FAO) under the conditions of the Northern Steppe of Ukraine.

Field experiments were conducted during 2022–2024 at the experimental field of Agrotechnology-Plus LLC, located in the Kropyvnytskyi district of Kirovohrad region. Seven DEKALB hybrids with FAO from 310 to 420 (DKC 4098, DKC 4109, DKC 4391, DKC 4598, DKC 4712, DKC 5075, DKC 5206) were studied at eight levels of plant density ranging from 55 to 110 thousand plants/ha. Foliar feeding with the micronutrient fertilizer Amino Ultra Corn was performed at the 3–5 and 7–9 leaf stages. The study applied field, laboratory, mathematical, and statistical methods to assess the interaction between genotype, plant density, and environmental factors.

It was established that the determining factor influencing the crude protein content in maize grain was the weather conditions of the growing year. The highest protein concentration was observed in the moderately dry 2023 season (average 7.75%), while the lowest was recorded in 2024 (7.16%), which was characterized by severe moisture deficiency during critical growth and development phases. Among the studied hybrids, the highest and most stable protein content was formed by hybrid DKC 4391 (FAO 350), with a maximum value of 8.45% in 2023 at a plant density of 80 thousand/ha. Overall, optimal protein accumulation in the grain was observed at a planting density of 75–80 thousand/ha. Reducing plant density to ≤ 60 thousand/ha or excessive thickening of stands (≥ 90 thousand/ha) led to decreased grain protein content, indicating both resource-related and allelopathic limitations.

The obtained results confirm the significant influence of genotype and plant density on maize grain quality, particularly under contrasting hydrothermal conditions. These findings can be used to optimize maize cultivation technologies with the aim of stabilizing grain quality indicators under conditions of climate change and economic instability.

Key words: maize, hybrids, FAO, crude protein, grain quality, plant density, moisture conditions, drought.

Вступ

За сучасних умов глобальних кліматичних змін, посилення конкуренції на аграрному ринку та необхідності забезпечення продовольчої та енергетичної безпеки питання якості зерна кукурудзи привертає до себе все більшу увагу. З огляду на трансформацією агровиробництва від екстенсивної до інтенсивної моделі, орієнтованої на стабільні рівні врожайності та високу якість продукції, виникає потреба в удосконаленні агротехнологій вирощування кукурудзи з урахуванням показників якості в загальній оцінці. Особливої актуальності набуває дослідження взаємозв'язку між показниками якості зерна та окремими еле-

ментами технології, зокрема добором гібридів та густотою стояння рослин (Obeng-Bio et al., 2019; Feng, 2024; Popa et al., 2025).

Одним із провідних факторів, який впливає на якість зерна, є генетичний потенціал гібридів кукурудзи. Сучасні гібриди різняться за типом зерна, стійкістю до абіотичних і біотичних стресів, рівнем накопичення білка й крохмалю. Добір гібридів відповідно до ґрунтового-кліматичних умов та цільового призначення врожаю (корм, перероблення, експорт) є важливим чинником не лише для отримання високого рівня врожайності, а й для забезпечення необхідних параметрів якості зерна (Owusu et al., 2022; Djalovic et al., 2024; Meng et al., 2024).

За результатами експериментальних досліджень, проведених представниками компанії «Лімагрейн» у ґрунтово-кліматичних умовах Центрального Лісостепу України, встановлено, що збільшення густоти стояння рослин кукурудзи призводить до підвищеної конкуренції за світло, вологу та елементи живлення, що негативно позначається на формі качанів, кількості в них зерен та їх масі. Так, загушення посівів кукурудзи з 60 до 100 тис./га зменшує індивідуальну продуктивність рослин у 1,5–1,8 раза (Андрієнко і Романенко, 2013). Надмірне загушення посівів призводить до зменшення вмісту в зерні кукурудзи білка та жиру на 4–11%, збільшення вмісту крохмалю на 0,65–2,00% та розчинних цукрів на 39–69% (Wang et al., 2023), а також до підвищення вологості зерна (Шульц, 2022).

Незважаючи на зниження загальної врожайності та ефективності використання площі в розріджених посівах кукурудзи, такий елемент технології вирощування має низку позитивних впливів на показники якості зерна. У розріджених посівах формується більша площа живлення, що зменшує конкуренцію рослин за поживні речовини (Gong et al., 2022); спостерігається краща освітленість листової поверхні, що сприяє більш тривалому функціонуванню нижніх листків і накопиченню асимілятів (Li et al., 2018); посіви краще забезпечуються вологою, що особливо важливо в умовах нестійкого зволоження (Qin et al., 2022); як результат – покращуються показники якості зерна. Наприклад, за результатами досліджень, проведених у ґрунтово-кліматичних умовах північного сходу Китаю, встановлено, що зниження густоти стояння рослин з 80 до 50 тис./га призводило до суттєвого збільшення маси 1000 зерен та зростання вмісту білка в зерні (Zhang et al., 2020). За результатами досліджень Цзян Ю та ін. з високпродуктивним для умов Китаю гібридом кукурудзи Zhengdan 958, встановлено, що зменшення густоти стояння рослин з 90 до 60 тис./га призвело до збільшення вмісту білка в зерні на 0,7%, а вмісту жиру – на 0,3% (Jiang et al., 2023).

У зріджених посівах відбувається кращий повітрообмін, зростає ефективність транспірації і спостерігаються менші ризики самозатіннення рослин, що своєю чергою сприяє зниженню вологості зерна на момент збирання, зменшенню ураження качанів грибними патогенами, кращим умовам дозрівання зерна до стану фізіологічної

стиглості, формуванню зерна з високими показниками якості (Zhang et al., 2021; Djaman et al., 2022).

Таким чином, дослідження впливу гібридного складу та густоти стояння рослин на формування показників якості зерна кукурудзи є актуальним питанням з погляду як наукового обґрунтування, так і практичного впровадження в аграрному виробництві. Отримані результати дозволять удосконалити сучасні технології вирощування, що забезпечить стабільну якість продукції, навіть в умовах змін клімату та економічної нестабільності.

Метою дослідження було дослідити вплив густоти стояння рослин на показники якості зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО в ґрунтово-кліматичних умовах Північного Степу України.

Матеріал і методи

У 2022–2024 рр. на базі ТОВ АФ «Агротехнологія-Плюс» (Кропивницький район Кіровоградської області; географічні координати: 48°24'54" пн. ш., 32°01'02" сх. д.) проводили польові дослідження з гібридами кукурудзи марки DEKALB різних груп стиглості (ФАО). Ґрунтовий покрив дослідної ділянки представлений чорноземом звичайним малогумусним із глибоким гумусовим горизонтом та середнім рівнем забезпеченості рухомими формами основних макроелементів.

Гібриди ДКС 4098 (ФАО 310), ДКС 4109 (ФАО 320), ДКС 4391 (ФАО 350), ДКС 4598 (ФАО 360), ДКС 4712 (ФАО 370), ДКС 5075 (ФАО 410), ДКС 5206 (ФАО 420) вирощували за різної густоти стояння рослин: 55, 60, 65, 70, 75, 80, 90 та 110 тис./га. Загальна площа дослідної ділянки – 100 м², облікова – 60 м².

У ході досліджень використовували польовий, лабораторний, математичний і статистичний методи, а також рекомендовану для даної зони технологію вирощування культури, за винятком факторів, узятих на вивчення. У фазах 3–5 і 7–9 листків проводили позакореневі підживлення посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза.

Вміст сирого протеїну в зерні кукурудзи визначали за методом К'ельдаля, який ґрунтується на визначенні загального вмісту азоту з подальшим перерахунком на білок шляхом множення на коефіцієнт 6,25. Методика передбачала мінералізацію зразків концентрованою сірчаною кислотою за присутності каталізаторів, дистиляцію аміаку та титрування. Одержані результати виражали у відсотках сирого протеїну (% від маси абсолютно сухої речовини).

Статистичне оброблення експериментальних даних здійснювали з використанням програмного пакету Microsoft Office Excel та програмно-інформаційного комплексу Agrostat (Ушкаренко та ін., 2008).

Результати

Аналіз динаміки вмісту сирого протеїну в зерні кукурудзи за трирічний період свідчить про суттєвий вплив погодних умов року вирощування, біологічних особливостей гібридів (фактор А) та густоти стояння рослин (фактор В) на формування показників якості врожаю. Встановлено, що найбільша кількість сирого протеїну в зерні накопичувалася у 2023 р., а найнижча – у 2024 р. (табл. 1).

У більш вологому 2022 р. досліджень сирого протеїну в зерні накопичувалося менше, ніж у більш посушливому 2023 р., що узгоджується із загальновідомим положенням про накопичення більшої кількості білка за умов дефіциту води. Найпосушливіший 2024 р. досліджень характеризувався водним стресом у критичні фази росту й розвитку рослин кукурудзи, що призвело до гальмування процесів азотного обміну, особливо у фазі наливу зерна, що зумовило найнижчі за три роки досліджень показники вмісту сирого протеїну. У середньому за досліджуваними факторами у 2022 р. вміст сирого протеїну в зерні кукурудзи становив 7,53%, у 2023 р. – 7,75%, а у 2024 р. – 7,16%.

Серед гібридів найвищий рівень сирого протеїну стабільно формував гібрид ДКС 4391 (ФАО 350), з максимальним значенням 8,45% у 2023 р. за густоти стояння рослин 80 тис./га. Загалом, щільність посівів у межах 75–80 тис./га забезпечувала найбільш оптимальні умови для формування білкового потенціалу завдяки ефективному поєднанню площі живлення, фотосинтетичної активності та азотного обміну. Зменшення густоти рослин до 55–60 тис./га, як і надмірне загущення посівів (понад 90 тис./га), призводило до зниження вмісту протеїну в зерні, що свідчить про дію як екологічних, так і аделопатичних обмежень.

У середньому за трирічний період досліджень встановлено суттєву диференціацію гібридів кукурудзи за рівнем накопичення сирого протеїну в зерні. Найвищим цей показник визначено в гібрида ДКС 4391 (ФАО 350) – 7,81% (рис. 1), що свідчить про його підвищену потенційну здатність до формування білкового компонента врожаю навіть за мінливих гідротермічних умов. Деяко нижчі, але стабільно високі

показники забезпечили гібриди ДКС 4598 (ФАО 360) – 7,52%, ДКС 4712 (ФАО 370) – 7,46% та ДКС 4098 (ФАО 310) – 7,42%. Близькі значення спостерігали в гібридів ДКС 5075 (ФАО 410) і ДКС 5206 (ФАО 420) – 7,41 та 7,40% відповідно. Найнижчий вміст сирого протеїну в зерні мав гібрид ДКС 4109 (ФАО 320) – 7,34%. Отримані дані підтверджують важливе значення біологічних особливостей гібридів у формуванні показників якості зерна, зокрема вмісту сирого протеїну, та можуть бути використані для оптимізації гібридного складу посівів кукурудзи залежно від цільового напрямку використання продукції.

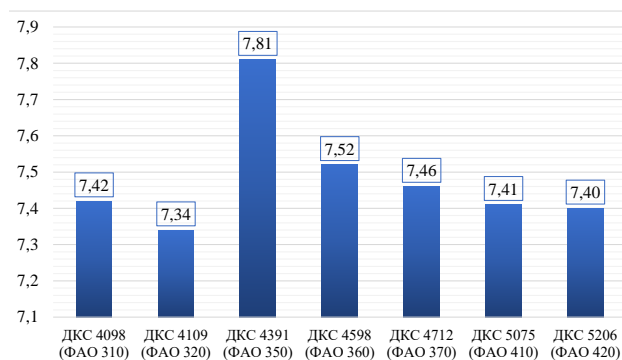


Рис. 1. Вміст сирого протеїну в зерні гібридів кукурудзи різних груп ФАО в середньому за фактором В (середнє за 2022–2024 рр.), %

Результати дисперсійного аналізу підтвердили достовірний вплив досліджуваних факторів, а також взаємодії між ними, що свідчить про тісну залежність умісту сирого протеїну в зерні від поєднання генотипу, густоти стояння рослин і стресового навантаження за водним фактором.

Обговорення

Одержані нами результати досліджень у 2023 р., відповідно до яких вміст сирого протеїну в зерні кукурудзи був вищим на фоні водного дефіциту, на відміну від зведеного 2022 р., узгоджуються з даними літературних джерел, які свідчать про посилений синтез білка в умовах посухи (Safian et al., 2022). За результатами досліджень Ч. Хуан та ін. встановлено, що водний дефіцит у критичних фазах росту й розвитку посилює синтез білкових сполук у зерні кукурудзи через зниження формування крохмалю, що зумовлено концентраційним ефектом (Huang et al., 2023). А.А. Коррендо та ін. зазначають, що посуха після запилення сприяє суттєвому збільшенню білко-

Таблиця 1

Вміст сирого протеїну в зерні гібридів кукурудзи різних груп ФАО залежно від густоти стояння рослин

Гібрид (фактор А)	Густота стояння рослин, тис./га (фактор В)							
	55	60	65	70	75	80	90	110
2022 рік								
ДКС 4098 (ФАО 310)	7,10	7,20	7,40	7,57	7,65	7,80	7,70	7,30
ДКС 4109 (ФАО 320)	6,95	7,15	7,35	7,50	7,62	7,70	7,60	7,25
ДКС 4391 (ФАО 350)	7,20	8,15	7,95	7,81	7,90	8,20	8,05	7,60
ДКС 4598 (ФАО 360)	7,05	7,30	7,60	7,75	7,80	7,88	7,75	7,40
ДКС 4712 (ФАО 370)	6,90	7,10	7,45	7,65	7,78	7,90	7,80	7,50
ДКС 5075 (ФАО 410)	6,75	7,05	7,35	7,60	7,70	7,85	7,80	7,55
ДКС 5206 (ФАО 420)	6,85	7,10	7,30	7,61	7,75	7,80	7,70	7,45
2023 рік								
ДКС 4098 (ФАО 310)	7,31	7,42	7,62	7,83	7,89	8,04	7,94	7,51
ДКС 4109 (ФАО 320)	7,16	7,36	7,57	7,73	7,85	7,92	7,81	7,47
ДКС 4391 (ФАО 350)	7,42	8,39	8,19	8,05	8,14	8,45	8,29	7,83
ДКС 4598 (ФАО 360)	7,26	7,51	7,83	7,98	8,05	8,11	7,98	7,66
ДКС 4712 (ФАО 370)	7,11	7,31	7,67	7,88	7,96	8,13	8,06	7,73
ДКС 5075 (ФАО 410)	6,98	7,27	7,62	7,83	7,92	8,09	8,06	7,71
ДКС 5206 (ФАО 420)	7,05	7,31	7,52	7,84	7,97	8,04	7,94	7,67
2024 рік								
ДКС 4098 (ФАО 310)	6,75	6,91	7,03	7,19	7,27	7,41	7,32	6,94
ДКС 4109 (ФАО 320)	6,60	6,79	6,99	7,13	7,24	7,31	7,20	6,89
ДКС 4391 (ФАО 350)	6,84	7,74	7,55	7,42	7,50	7,80	7,66	7,22
ДКС 4598 (ФАО 360)	6,70	6,94	7,24	7,36	7,42	7,48	7,36	7,04
ДКС 4712 (ФАО 370)	6,55	6,78	7,07	7,27	7,34	7,51	7,46	7,04
ДКС 5075 (ФАО 410)	6,41	6,69	7,03	7,24	7,31	7,47	7,46	7,18
ДКС 5206 (ФАО 420)	6,51	6,78	6,99	7,23	7,37	7,42	7,32	7,18
Середнє за 2022–2024 рр.								
ДКС 4098 (ФАО 310)	7,05	7,18	7,35	7,53	7,60	7,75	7,65	7,25
ДКС 4109 (ФАО 320)	6,90	7,10	7,30	7,45	7,57	7,64	7,54	7,20
ДКС 4391 (ФАО 350)	7,15	8,09	7,90	7,76	7,85	8,15	8,00	7,55
ДКС 4598 (ФАО 360)	7,00	7,25	7,56	7,70	7,76	7,82	7,70	7,37
ДКС 4712 (ФАО 370)	6,85	7,06	7,40	7,60	7,69	7,85	7,77	7,42
ДКС 5075 (ФАО 410)	6,71	7,00	7,33	7,56	7,64	7,80	7,77	7,48
ДКС 5206 (ФАО 420)	6,80	7,06	7,27	7,56	7,70	7,75	7,65	7,43
НІР ₀₅ , %:	2022 р.	А – 0,17; В – 0,14; С – 0,11; АВ – 0,23						
	2023 р.	А – 0,21; В – 0,18; С – 0,14; АВ – 0,29						
	2024 р.	А – 0,14; В – 0,11; С – 0,09; АВ – 0,19						

вості зерна кукурудзи, незважаючи на зниження вмісту крохмалю та рівня загальної врожайності (Correndo et al., 2021). У дослідженнях Ц. Го та ін. описано механізми, за яких посушливі умови активізують процеси синтезу білка в ендоспермі зерна кукурудзи на молекулярному рівні, що підтверджує підвищення співвідношення білок/крохмаль за дефіциту вологи (Guo et al., 2021).

У 2024 р. досліджень, коли вегетація проходила в умовах вираженого гідротермічного стресу, спостерігалось істотне зни-

ження вмісту сирого протеїну в зерні майже всіх гібридів – у середньому на 0,5–0,8% порівняно з попереднім роком, що узгоджується з результатами досліджень Х.С. Сайні та М.Е. Вестгейт, які зазначали, що надмірна посуха у фазі наливу зерна обмежує транспортування асимілятів і порушує азотний метаболізм, внаслідок чого формується більш дрібне та менш білкове зерно (Saini & Westgate, 1999).

Інтенсивна посуха здатна суттєво знизити зернову продуктивність кукурудзи,

негативно впливаючи на ріст і розвиток рослин, фізіологічні процеси, які в них відбуваються, та формування репродуктивних органів (Verbraeken et al., 2021; Yasin et al., 2024). Найбільші втрати врожаю (до 90%) відбуваються в разі дефіциту вологи в критичні фази росту й розвитку, зокрема незадовго до цвітіння та під час наливу зерна (Sheoran et al., 2022; Li et al., 2023).

Щоб розв'язати проблему посухи, яка суттєво позначається на зерновій продуктивності кукурудзи, пріоритетним завданням сучасного аграрного виробництва є впровадження у виробництво гібридів, які мають підвищену стійкість до абіотичних стресів, зокрема водного дефіциту. Саме такі адаптивні гібриди здатні забезпечити стабільне формування врожаю в умовах нестабільних умов вологозабезпечення (Adee et al., 2016; Salika et al., 2021; Yousaf et al., 2022).

Для підвищення стійкості гібридів до посухи аграрна наука активно впроваджує інтегровані стратегії селекції і феномічного аналізу. Зокрема, огляд сучасних підходів у селекції показав, що використання геномних технологій, високопродуктивного фенотипування і транскриптомного аналізу суттєво пришвидшує створення гібридів з підвищеною посухостійкістю (McMillen et al., 2022). Це підтверджується результатами досліджень А. Рашид та ін., якими доведено, що нові гібриди, адаптовані до

нестійких умов зволоження, забезпечують стабільно вищі рівні врожайності та економію води порівняно зі звичайними гібридами (Rasheed et al., 2023). Доцільність такого підходу обґрунтовує і наше дослідження, спрямоване на оцінювання якості зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО за умов різного рівня зволоження, що є актуальним у контексті зміни клімату та необхідності адаптації технологій вирощування до нових агрокліматичних умов.

Висновки

За результатами трирічних досліджень встановлено суттєвий вплив метеорологічних умов вегетаційного періоду, біологічних особливостей гібридів та густоти стояння рослин на вміст сирого протеїну в зерні кукурудзи. Найбільш сприятливі умови для формування білкового потенціалу визначено за густоти стояння рослин 75–80 тис./га. У надмірно загущених або зріджених посівах вміст сирого протеїну в зерні знижувався. Виявлено стійку перевагу гібрида ДКС 4391 (ФАО 350) за рівнем білковості зерна, що засвідчує його високу адаптивну здатність до змін гідротермічного режиму. Результати досліджень можуть бути використані для науково обґрунтованого добору гібридів та густоти стояння рослин з урахуванням рівня зволоження з метою оптимізації показників якості зерна кукурудзи в умовах кліматичних змін.

Список використаної літератури

- Андрієнко А., Романенко М. Густота як фактор продуктивності кукурудзи. *Пропозиція*. 2013 [Електронний ресурс]. URL: <https://surli.cc/rhenua> (дата звернення: 01.07.2025).
- Шульц П. Вплив густоти висіву кукурудзи на урожайність. *Агроном*. 2022 [Електронний ресурс]. URL: <https://surl.li/fxuexz> (дата звернення: 01.07.2025).
- Ушкаренко В.О., Нікішенко В.А., Голобородько С.П., Коковіхін С.В. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві: навчальний посібник. Херсон: Айлант, 2008. 272 с.
- Adee E., Roozeboom K., Balboa G.R., Schlegel A., Ciampitti I.A. Drought-tolerant corn hybrids yield more in drought-stressed environments with no penalty in non-stressed environments. *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. P. 1534. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01534>.
- Correndo A.A., Fernandez J.A., Vara Prasad P.V., Ciampitti I.A. Do Water and Nitrogen Management Practices Impact Grain Quality in Maize? *Agronomy*. 2021. Vol. 11. № 9. P. 1851. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091851>.
- Djalovic I., Prasad P.V.V., Dunderski D., Katanski S., Latković D., Kolarić L. Optimal Plant Density Is Key for Maximizing Maize Yield in Calcareous Soil of the South Pannonian Basin. *Plants*. 2024. Vol. 13. № 13. P. 1799. <https://doi.org/10.3390/plants13010143>.
- Djaman K., Allen S., Djaman D.S., Koudahe K., Irmak S., Puppala N., Darapuneni M.K., Angadi S.V. Planting date and plant density effects on maize growth, yield and water use efficiency. *Environmental Challenges*. 2022. Vol. 6. P. 100417. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100417>.
- Feng X.Z. Genetic and environmental factors influencing grain quality in maize. *Maize Genomics and Genetics*. 2024. Vol. 15. № 2. P. 93–101. <https://doi.org/10.5376/mgg.2024.15.001>.
- Gong H., Xiang Y., Wako B.K., Jiao X. Complementary effects of phosphorus supply and planting density on maize growth and phosphorus use efficiency. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 26. № 13. P. 983788. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.983788>.

Guo J., Qu L., Hu Y., Lu W., Lu D. Proteomics reveals the effects of drought stress on the kernel development and starch formation of waxy maize. *BMC Plant Biology*. 2021. Vol. 21. P. 434. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03214-z>.

Huang C., Qin A., Gao Ya., Ma S., Liu Z., Zhao B., Ning D., Zhang K., Gong W., Sun M., Liu Z. Effects of water deficit at different stages on growth and ear quality of waxy maize. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. P. 1069551. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1069551>.

Jiang Y., Wei H., Hou S., Yin X., Wei S., Jiang D. Estimation of Maize Yield and Protein Content under Different Density and N Rate Conditions Based on UAV Multi-Spectral Images. *Agronomy*. 2023. Vol. 13. № 2. P. 421. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020421>.

Li J., Xie R.Z., Wang K.R., Hou P., Ming B., Zhang G.Q., Liu G.Z., Wu M., Yang Z.S., Li S.K. Response of canopy structure, light interception and grain yield to plant density in maize. *The Journal of Agricultural Science*. 2018. Vol. 156. № 6. P. 785–794. <https://doi.org/10.1017/S0021859618000692>.

Li Ya., Zhang P., Sheng W., Zhang Z., Rose R.J., Song Y. Securing maize reproductive success under drought stress by harnessing CO₂ fertilization for greater productivity. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. P. 1221095. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1221095>.

McMillen M.S., Mahama A.A., Sibiya J., Lübberstedt T., Suza W.P. Improving drought tolerance in maize: Tools and techniques. *Frontiers in Genetics*. 2022. Vol. 13. P. 1001001. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1001001>.

Meng L., Zhang J., Clarke N. A Critical Review of Recent Advances in Maize Stress Molecular Biology. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024. Vol. 25. № 22. P. 12383. <https://doi.org/10.3390/ijms252212383>.

Obeng-Bio E., Badu-Apraku B., Ifie B.E., Danquah A., Blay E.T., Annor B. Genetic analysis of grain yield and agronomic traits of early provitamin A quality protein maize inbred lines in contrasting environments. *Journal of Agricultural Science*. 2019. Vol. 157. P. 413–433. <https://doi.org/10.1017/S0021859619000753>.

Owusu G.A., Ribeiro P.F., Abe A. Genetic analysis of grain yield and agronomic traits of quality protein maize inbred lines and their single-cross hybrids under drought stress and well-watered conditions. *Ecological Genetics and Genomics*. 2022. Vol. 22. P. 100105. <https://doi.org/10.1016/j.egg.2021.100105>.

Popa C., Călugăr R.E., Varga A., Muntean E., Băcilă I., Vana C.D., Racz I., Tritean N., Berindean I.V., Ona A.D., Muntean L. Evaluating Maize Hybrids for Yield, Stress Tolerance, and Carotenoid Content: Insights into Breeding for Climate Resilience. *Plants*. 2025. Vol. 14. № 1. P. 138–157. <https://doi.org/10.3390/plants14010138>.

Qin J., Wang X., Fan X., Jiang M., Lv M. Whether Increasing Maize Planting Density Increases the Total Water Use Depends on Soil Water in the 0–60 cm Soil Layer in the North China Plain. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. № 10. P. 5848. <https://doi.org/10.3390/su14105848>.

Rasheed A., Jie H., Ali B., He P., Zhao L., Ma Yu., Xing H., Qari S.H., Hassan M.U., Hamid M.R., Jie Yu. Breeding Drought-Tolerant Maize (*Zea mays*) Using Molecular Breeding Tools: Recent Advancements and Future Prospective. *Agronomy*. 2023. Vol. 13. № 6. P. 1459. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061459>.

Safian N., Naderi M.R., Torabi M., Soleymani A., Salemi H.R. Corn (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) yield and nutritional quality affected by drought stress. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2022. Vol. 45. P. 102486. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102486>.

Saini H.S., Westgate M.E. Reproductive development in grain crops during drought. *Advances in Agronomy*. 1999. Vol. 68. P. 59–96. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60843-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60843-3).

Salika R., Riffat J. Abiotic stress responses in maize: a review. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2021. Vol. 43. № 9. P. 130. <https://doi.org/10.1007/s11738-021-03296-0>.

Sheoran S., Kaur Y., Kumar S., Shukla S., Rakshit S., Kumar R. Recent Advances for Drought Stress Tolerance in Maize (*Zea mays* L.): Present Status and Future Prospects. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. P. 872566. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.872566>.

Verbraeken L., Wuyts N., Mertens S., Cannoot B., Maleux K., Demuyneck K., De Block J., Merchie J., Dhondt S., Bonaventure G., Crafts-Brandner S., Vogel J., Bruce W., Inzé D., Maere S., Nelissen H. Drought affects the rate and duration of organ growth but not inter-organ growth coordination. *Plant Physiology*. 2021. Vol. 186. № 2. P. 1336–1353. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab155>.

Wang F., Wang L., Yu X., Gao J., Ma D., Guo H., Zhao H. Effect of Planting Density on the Nutritional Quality of Grain in Representative High-Yielding Maize Varieties from Different Eras. *Agriculture*. 2023. Vol. 13. № 9. P. 1835. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091835>.

Yasin S., Zavala-García F., Niño-Medina G., Rodríguez-Salinas P.A., Gutiérrez-Diez A., Sinagawa-García S.R., Lugo-Cruz E. Morphological and Physiological Response of Maize (*Zea mays* L.) to Drought Stress during Reproductive Stage. *Agronomy*. 2024. Vol. 14. № 8. P. 1718. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081718>.

Yousaf M.I., Riaz M.W., Jiang Yu., Yasir M., Aslam M.Z., Hussain S., Shah S.A.S., Shehzad A., Riasat G., Manzoor M.A., Akhtar I. Concurrent effects of drought and heat stresses on physio-

chemical attributes, antioxidant status and kernel quality traits in maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. P. 898823. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.898823>.

Zhang D., Sun Z., Feng L., Bai W., Yang N., Zhang Z., Du G., Feng C., Cai Q., Wang Q., Zhang Yu., Wang R., Arshad A., Hao X., Sun M., Gao Z., Zhang L. Maize plant density affects yield, growth and source-sink relationship of crops in maize/peanut intercropping. *Field Crops Research*. 2020. Vol. 257. P. 107926. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107926>.

Zhang Y., Xu Z., Li J., Wang R. Optimum Planting Density Improves Resource Use Efficiency and Yield Stability of Rainfed Maize in Semiarid Climate. *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. P. 752606. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.752606>.

References

Andriienko, A., & Romanenko, M. (2013). Hustota yak faktor produktyvnosti kukurudzy [Density as a factor in corn productivity]. *Propozytsiia [Proposal]*. [Electronic resource]. URL: <https://surli.cc/rhenua> (access date 01.07.2025) [in Ukrainian].

Shults, P. (2022). Vplyv hustoty vysivu kukurudzy na urozhainist [The effect of corn seeding density on yield]. *Ahronom [Agronomist]*. [Electronic resource]. URL: <https://surl.li/fxyezx> (access date 01.07.2025) [in Ukrainian].

Ushkarenko, V.O., Nikishenko, V.L., Holoborodko, S.P., & Kokovikhin, S.V. (2008). Dyspersiynyi i koreliatsiynyi analiz u zemlerobstvi ta roslynnytstvi : navchalnyi posibnyk [Dispersion and correlation analysis in agriculture and crop production : a textbook]. Kherson : Ailant, 272 [in Ukrainian].

Adee, E., Roozeboom, K., Balboa, G. R., Schlegel, A., & Ciampitti, I. A. (2016). Drought-tolerant corn hybrids yield more in drought-stressed environments with no penalty in non-stressed environments. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1534. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01534> [in English].

Correndo, A.A., Fernandez, J.A., Vara Prasad, P.V., & Ciampitti, I.A. (2021). Do Water and Nitrogen Management Practices Impact Grain Quality in Maize? *Agronomy*, 11 (9), 1851. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091851> [in English].

Djalovic, I., Prasad, P. V. V., Dunderski, D., Katanski, S., Latković, D., & Kolarić, L. (2024). Optimal Plant Density Is Key for Maximizing Maize Yield in Calcareous Soil of the South Pannonian Basin. *Plants*, 13 (13), 1799. <https://doi.org/10.3390/plants13010143> [in English].

Djaman, K., Allen, S., Djaman, D. S., Koudahe, K., Irmak, S., Puppala, N., Darapuni, M. K., & Angadi, S. V. (2022). Planting date and plant density effects on maize growth, yield and water use efficiency. *Environmental Challenges*, 6, 100417. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100417> [in English].

Feng, X.Z. (2024). Genetic and environmental factors influencing grain quality in maize. *Maize Genomics and Genetics*, 15 (2), 93–101. <https://doi.org/10.5376/mgg.2024.15.0010> [in English].

Gong, H., Xiang, Y., Wako, B. K., & Jiao, X. (2022). Complementary effects of phosphorus supply and planting density on maize growth and phosphorus use efficiency. *Frontiers in Plant Science*, 26 (13), 983788. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.983788> [in English].

Guo, J., Qu, L., Hu, Y., Lu, W., & Lu, D. (2021). Proteomics reveals the effects of drought stress on the kernel development and starch formation of waxy maize. *BMC Plant Biology*, 21, 434. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03214-z> [in English].

Huang, C., Qin, A., Gao, Ya., Ma, S., Liu, Z., Zhao, B., Ning, D., Zhang, K., Gong, W., Sun, M., & Liu, Z. (2023). Effects of water deficit at different stages on growth and ear quality of waxy maize. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1069551. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1069551> [in English].

Jiang, Y., Wei, H., Hou, S., Yin, X., Wei, S., & Jiang, D. (2023). Estimation of Maize Yield and Protein Content under Different Density and N Rate Conditions Based on UAV Multi-Spectral Images. *Agronomy*, 13 (2), 421. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020421> [in English].

Li, J., Xie, R.Z., Wang, K.R., Hou, P., Ming, B., Zhang, G.Q., Liu, G.Z., Wu, M., Yang, Z.S., & Li, S.K. (2018). Response of canopy structure, light interception and grain yield to plant density in maize. *The Journal of Agricultural Science*, 156(6), 785–794. <https://doi.org/10.1017/S0021859618000692> [in English].

Li, Ya., Zhang, P., Sheng, W., Zhang, Z., Rose, R.J., & Song, Y. (2023). Securing maize reproductive success under drought stress by harnessing CO₂ fertilization for greater productivity. *Front. Plant Sci*, 14, 1221095. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1221095> [in English].

McMillen, M.S., Mahama, A.A., Sibiyi, J., Lübberstedt, T., & Suza, W.P. (2022). Improving drought tolerance in maize: Tools and techniques. *Frontiers in Genetics*, 13, 1001001. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1001001> [in English].

Meng, L., Zhang, J., & Clarke, N. (2024). A Critical Review of Recent Advances in Maize Stress Molecular Biology. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(22), 12383. <https://doi.org/10.3390/ijms252212383> [in English].

Obeng-Bio, E., Badu-Apraku, B., Ifie, B.E., Danquah, A., Blay, E.T., & Annor, B. (2019). Genetic analysis of grain yield and agronomic traits of early provitamin A quality protein maize inbred lines in

contrasting environments. *Journal of Agricultural Science*, 157, 413–433. <https://doi.org/10.1017/S0021859619000753> [in English].

Owusu, G.A., Ribeiro, P.F., & Abe, A. (2022). Genetic analysis of grain yield and agronomic traits of quality protein maize inbred lines and their single-cross hybrids under drought stress and well-watered conditions. *Ecological Genetics and Genomics*, 22, 100105. <https://doi.org/10.1016/j.egg.2021.100105> [in English].

Popa, C., Călugăr, R.E., Varga, A., Muntean, E., Băcilă, I., Vana, C.D., Racz, I., Tritean, N., Berindean, I.V., Ona, A.D., & Muntean, L. (2025). Evaluating Maize Hybrids for Yield, Stress Tolerance, and Carotenoid Content: Insights into Breeding for Climate Resilience. *Plants*, 14 (1), 138–157. <https://doi.org/10.3390/plants14010138> [in English].

Qin, J., Wang, X., Fan, X., Jiang, M., & Lv, M. (2022). Whether Increasing Maize Planting Density Increases the Total Water Use Depends on Soil Water in the 0–60 cm Soil Layer in the North China Plain. *Sustainability*, 14 (10), 5848. <https://doi.org/10.3390/su14105848> [in English].

Rasheed, A., Jie, H., Ali, B., He, P., Zhao, L., Ma, Yu., Xing, H., Qari, S.H., Hassan, M.U., Hamid, M.R., & Jie, Yu. (2023). Breeding Drought-Tolerant Maize (*Zea mays*) Using Molecular Breeding Tools: Recent Advancements and Future Prospective. *Agronomy*, 13 (6), 1459. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061459> [in English].

Safian, N., Naderi, M.R., Torabi, M., Soleymani, A., & Salemi, H.R. (2022). Corn (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) yield and nutritional quality affected by drought stress. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 45, 102486. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102486> [in English].

Saini, H.S., & Westgate, M.E. (1999). Reproductive development in grain crops during drought. *Advances in Agronomy*, 68, 59–96. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60843-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60843-3) [in English].

Salika, R., & Riffat, J. (2021). Abiotic stress responses in maize: a review. *Acta Physiologiae Plantarum*, 43(9), 130. <https://doi.org/10.1007/s11738-021-03296-0> [in English].

Sheoran, S., Kaur, Y., Kumar, S., Shukla, S., Rakshit, S., & Kumar, R. (2022). Recent Advances for Drought Stress Tolerance in Maize (*Zea mays* L.): Present Status and Future Prospects. *Frontiers in Plant Science*, 13, 872566. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.872566> [in English].

Verbraeken, L., Wuyts, N., Mertens, S., Cannoot, B., Maleux, K., Demuynck, K., De Block, J., Merchie, J., Dhondt, S., Bonaventure, G., Crafts-Brandner, S., Vogel, J., Bruce, W., Inzé, D., Maere, S., & Nelissen, H. (2021). Drought affects the rate and duration of organ growth but not inter-organ growth coordination. *Plant Physiology*, 186 (2), 1336–1353. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab155> [in English].

Wang, F., Wang, L., Yu, X., Gao, J., Ma, D., Guo, H., & Zhao, H. (2023). Effect of Planting Density on the Nutritional Quality of Grain in Representative High-Yielding Maize Varieties from Different Eras. *Agriculture*, 13 (9), 1835. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091835> [in English].

Yasin, S., Zavala-García, F., Niño-Medina, G., Rodríguez-Salinas, P.A., Gutiérrez-Diez, A., Sinagawa-García, S.R., & Lugo-Cruz, E. (2024). Morphological and Physiological Response of Maize (*Zea mays* L.) to Drought Stress during Reproductive Stage. *Agronomy*, 14 (8), 1718. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081718> [in English].

Yousaf, M.I., Riaz, M.W., Jiang, Yu., Yasir, M., Aslam, M.Z., Hussain, S., Shah, S.A.S., Shehzad, A., Riasat, G., Manzoor, M.A., & Akhtar, I. (2022). Concurrent effects of drought and heat stresses on physio-chemical attributes, antioxidant status and kernel quality traits in maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Frontiers in Plant Science*, 13, 898823. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.898823> [in English].

Zhang, D., Sun, Z., Feng, L., Bai, W., Yang, N., Zhang, Z., Du, G., Feng, C., Cai, Q., Wang, Q., Zhang, Yu., Wang, R., Arshad, A., Hao, X., Sun, M., Gao, Z., & Zhang, L. (2020). Maize plant density affects yield, growth and source-sink relationship of crops in maize/peanut intercropping. *Field Crops Research*, 257, 107926. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107926> [in English].

Zhang, Y., Xu, Z., Li, J., & Wang, R. (2021). Optimum Planting Density Improves Resource Use Efficiency and Yield Stability of Rainfed Maize in Semiarid Climate. *Frontiers in Plant Science*, 12, 752606. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.752606> [in English].

Отримано: 18.07.2025

Прийнято: 26.08.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 632.7:635.34

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.26>

ФОРМУВАННЯ ЕНТОМОКОМПЛЕКСУ КАПУСТИ БІЛОГОЛОВОЇ У ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПІ УКРАЇНИ: ОГЛЯД ТЕОРЕТИЧНИХ ПІДХОДІВ ТА СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ

О. В. Матрос¹, О. М. Матрос²

У статті досліджено формування ентомокомплексу білокачанної капусти (*Brassica oleracea* var. *capitata*) в умовах сучасних кліматичних змін і агротехнічних впливів на території Правобережного Лісостепу України. Здійснено комплексний аналіз літературних джерел, результатів польових спостережень та кліматичних трендів, що дозволило виявити зростання ролі температурних аномалій, порушень сівозміни та спрощення агроценозів у формуванні видової структури та чисельності фітофагів. Установлено, що підвищення середньорічних температур сприяє збільшенню кількості генерацій основних шкідників (зокрема, *Plutella xylostella*, *Mamestra brassicae*), їх проникненню на нові території, а також успішнішому перезимовуванню. Раннє весняне потепління активізує *Phyllotreta* spp., а тепла осінь сприяє тривалому збереженню колоній *Brevicoryne brassicae*, що підвищує ризики втрати врожаю. Окрім того, м'які зими знижують депопуляційний тиск, сприяють прискореній еволюції стійкості фітофагів до інсектицидів. Особливу увагу приділено ролі сівозміни, структури посівів і щільності посадки, які значно впливають на формування ентомофауни капустяних культур. Вирощування капусти без дотримання агрономічних інтервалів, у моноагроценозах, без буферних зон і екологічних коридорів, спричиняє накопичення спеціалізованих шкідників і зниження кількості природних регуляторів (ентомофагів). Відсутність просторової ізоляції посівів різних культур підвищує ризик міграції фітофагів і утворення осередків масового розмноження. Запропоновано схему, яка демонструє взаємозв'язок між кліматичними, ландшафтними й агротехнічними чинниками в динаміці популяцій шкідників. У статті обґрунтовано необхідність перегляду традиційних прогнозних моделей і запровадження регіоналізованих адаптивних схем моніторингу, які враховують сучасні кліматичні трансформації і екологічні особливості агроecosистем.

Ключові слова: капуста білоголова, *Plutella xylostella*, шкідники, кліматичні зміни, агроценоз, сівозміна, ентомофаги.

¹ аспірант кафедри захисту і карантину рослин
(Уманський національний університет, м. Умань)
e-mail: matros2747@gmail.com

ORCID: 0009-0007-4920-7140

² кандидат економічних наук,
доцент кафедри обліку і оподаткування
(Уманський національний університет, м. Умань)
e-mail: matros.helena@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7133-4700

FORMATION OF THE ENTOMOCOMPLEX OF WHITE CABBAGE IN THE RIGHT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE: AN OVERVIEW OF THEORETICAL APPROACHES AND CURRENT TRENDS

O. V. Matros, O. M. Matros

*The article explores the formation of the entomocomplex of white cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) under current climatic changes and agrotechnical impacts in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. A comprehensive analysis of scientific sources, field observations, and climatic trends was carried out, revealing the growing influence of temperature anomalies, crop rotation violations, and agroecosis simplification on the species composition and population dynamics of phytophagous insects. It was established that rising average annual temperatures contribute to the increase in the number of generations of major pests (e.g., *Plutella xylostella*, *Mamestra brassicae*), their expansion into new territories, and better overwintering. Early spring warming activates *Phyllotreta* spp., while warm autumns support the prolonged activity of *Brevicoryne brassicae*, increasing crop loss risks. Moreover, mild winters reduce depopulation pressure and accelerate the evolution of resistance to insecticides. Special attention is given to the role of crop rotation, planting structure, and field density, which significantly influence the entomofauna of cabbage crops. Cultivation of cabbage in monocultures, without proper crop rotation or buffer zones, leads to the accumulation of specialized pests and a decline in natural population regulators (entomophagous insects). The lack of spatial isolation between crop fields increases the risk of pest migration and the formation of outbreak centers. A general scheme is proposed to illustrate the interconnection between climatic, landscape, and agrotechnical factors in the population dynamics of pests. The need to revise traditional forecasting models and implement regional adaptive monitoring schemes that consider current climate transformations and the ecological features of agroecosystems is substantiated.*

Key words: white cabbage, *Plutella xylostella*, pests, climate change, agroecosis, crop rotation, entomophagous insects.

Вступ

У структурі сучасного овочівництва відкритого ґрунту в Україні значна частка належить культурам родини капустяних, які вирізняються широкою зоною вирощування, харчовою цінністю та попитом серед споживачів. Серед них білокачанна капуста (*Brassica oleracea* var. *capitata*) посідає одне із провідних місць завдяки високим смаковим якостям, придатності до тривалого зберігання та переробки, а також стабільному попиту з боку внутрішнього ринку та переробної галузі.

Водночас інтенсифікація виробництва, кліматичні зрушення, спрощення сівозмін і нерівномірне використання засобів захисту спричинили загострення фітосанітарної ситуації в агроценозах капусти. Найбільш значущими загрозами для врожаю залишаються фітофаги – шкідливі комахи, що пошкоджують як вегетативні, так і генеративні органи рослин. Їхній видовий склад, чисельність і сезонна активність змінюються під впливом біотичних і абіотичних чинників, що особливо відчутно в регіонах з нестійкими погодними умовами.

У цьому контексті важливо вивчити особливості формування ентомофауни капусти в умовах Правобережного

Лісостепу України – агроекологічного регіону, який поєднує специфіку помірно-континентального клімату, інтенсивного землекористування та локальних особливостей агросистем. Вивчення структури ентомокомплексу та його динаміки дозволяє адаптувати заходи захисту до реальних умов господарювання.

Незважаючи на актуальність теми, у науковій літературі не досить повно систематизовано теоретичні положення щодо формування ентомокомплексу капустяних культур у даному регіоні. Більшість доступних досліджень мають фрагментарний характер або зосереджені на окремих видах шкідників, без урахування міжвидової взаємодії, біоценотичної рівноваги та змін під впливом агротехнічних прийомів.

Отже, науково обґрунтоване узагальнення сучасних теоретичних підходів до формування ентомокомплексу є необхідним кроком для підвищення ефективності прогнозування фітосанітарного ризику, розроблення інтегрованих систем захисту та зниження залежності від хімічного навантаження на агроекосистеми.

Білокачанна капуста, як і інші представники родини капустяних (*Brassicaceae*), уражується широким комплексом фітофа-

гів. Відомо, що ентомокомплекс агроценозів капусти характеризується значною видовою розмаїтістю – у світі налічуються сотні видів шкідників цієї культури. Зокрема, у Правобережному Лісостепі України в посівах редиски було виявлено 59 видів фітофагів із 8 рядів комах. Панівними групами серед них були представники рядів Coleoptera (до 29% видового складу) та Lepidoptera (27%), що свідчить про подібні тенденції і для капустяних культур загалом (Щетина та ін., 2024). В агроценозах білокачанної капусти спеціалізований комплекс шкідників включає листогризучих совок і білянок, мінуючих молей, сисних комах (попелиці, трипси, білокрилки), ґрунтових шкідників (личинки мух-капусниць) та інших фітофагів. Отже, капустяні культури в регіоні характеризуються значним видовим розмаїттям фітофагів, серед яких одні є сталими компонентами ентомофауни, а інші з'являються епізодично – залежно від погодних умов, сівозмін чи агротехніки.

У контексті підвищення екологічності овочівництва актуальним є впровадження біопрепаратів у технології вирощування капусти білоголової. Дослідження показали, що системи удобрення з використанням біологічних препаратів (як-от Біоазот, Фітохелп, Органік Про) у поєднанні з гуміновими добривами сприяють не лише підвищенню врожайності, але й поліпшенню якості продукції та стану ґрунту. Біологічний захист демонструє конкурентну ефективність порівняно із традиційною хімічною обробкою, що робить такі системи перспективними в умовах Лівобережного Лісостепу України (Куц, 2023).

Серед представників родини капустяних, до якої належить і білоголова капуста, спостерігається подібність у наборі шкідників. Так, у Правобережному Лісостепі України в посівах редиски виявлено 59 видів фітофагів, що свідчить про високу ентомофауну в агроценозах капустяних культур (Сергієнко та ін., 2024). Ці дані є підґрунтям для припущення про подібний видовий склад і для капусти білоголової, яка залишається малодослідженою в цьому регіоні.

З огляду на тісну спорідненість капустяних культур, зокрема білоголової капусти (*Brassica oleracea*) та ріпаку (*Brassica napus*), а також спільність основних фітофагів, досвід фітосанітарного моніторингу ріпаку вважається цінним джерелом для розуміння формування ентомокомплексу в капустяних агроценозах. Дані таких дослі-

джень дозволяють оцінити ширші тенденції поширення шкідників у родині Brassicaceae і обґрунтувати сучасні підходи до інтегрованого захисту.

У статті, присвяченій фітосанітарному моніторингу шкідників ріпаку озимого, представлено комплексну систему спостережень за основними видами фітофагів у південному регіоні України. Акцент зроблено на використанні широкого спектра методів обліку – від класичних ентомологічних сачків і пасток до кількісної оцінки рослинних проб. Значущим елементом дослідження є впровадження критерію економічного порогу шкодочинності (далі – ЕПШ) як основи для ухвалення рішень щодо хімічного захисту. Це джерело є надзвичайно важливим для розуміння підходів до систематизації моніторингу фітофагів у контексті інтегрованого захисту рослин (Макуха, 2020).

Порушення фітосанітарної рівноваги в агроценозах значною мірою зумовлене поєднанням агротехнічних і екологічних чинників. Зокрема, у Центральному Лісостепі України виявлено зростання інтенсивності фітопатогенного навантаження, що пов'язано з екологічно незбалансованою структурою угідь, домінуванням ріллі та технічних культур, контамінацією насіння фітопатогенами родів *Alternaria*, *Fusarium*, *Bipolaris*, а також поглибленням змін гідротермічних показників клімату (Мостов'як і Дем'янюк, 2020). Такі чинники створюють передумови для активізації шкідливих організмів і зниження ефективності традиційних систем захисту рослин.

Зростання посівів ріпаку в основних аграрних регіонах світу супроводжується посиленням біотичних стресів, зокрема фітопатогенів і шкідників, що знижує ефективність виробництва (Zheng et al., 2021). За результатами глобального опитування експертів, до основних загроз ріпаку належать склеротиніоз, фомоз, кила та різноманітні інсекти, спектр яких значно варіює залежно від регіону. Інтегровані методи захисту, як-от сівозмін, стійкі сорти або біоконтроль, часто є не досить ефективними, що зумовлює високу залежність від інсектицидів, особливо в Європі. На тлі зростання резистентності комах і зниження ефективності хімічного захисту запропоновано нові підходи – зокрема синхронізацію сівозмін на рівні ландшафту із тривалими періодами без культур-господарів, що сприяє скороченню чисельності шкідників і підвищенню стійкості агроєкосистем (Zheng et al., 2021).

Хоча предметом нашого дослідження є білокачанна капуста, варто враховувати дані щодо родинно близьких культур. Зокрема, в агроценозах редиски – представника тієї ж родини капустяних – у Правобережному Лісостепі України було виявлено 59 видів фітофагів. Ці спостереження є релевантними для розуміння ентомокомплексу капусти, адже свідчать про загальну видовість і мінливість шкідників у межах родини. Фітосанітарний моніторинг редиски у Правобережному Лісостепі (2008–2022 рр.) виявив 59 видів комах-фітофагів, два види нематод і одного слимака, домінували жуки (Coleoptera), метелики (Lepidoptera) і попелиці (Homoptera) (Щетина, 2022). Постійно загрозливими були: *Phyllotreta cruciferae*, *Plutella maculipennis*, *Brevicoryne brassicae* і *Agrotis segetum* – їх масове поширення досягало 60–100%, що вказує на необхідність пріоритетного моніторингу та диференційованого захисту в регіоні.

У дослідженнях, проведених на території Полтавської області, висвітлено видовий склад і багаторічну динаміку чисельності спеціалізованих листогризух шкідників капусти білоголової, зокрема капустяної совки (*Mamestra brassicae* L.), капустяної молі (*Plutella maculipennis* (Curt.)) та білана капустяного (*Pieris brassicae* L.). Автори наголошують, що показники чисельності цих фітофагів коливаються залежно від року досліджень, що свідчить про вплив агрокліматичних умов і біоценотичних зв'язків. У праці акцентовано увагу на актуальності дослідження сезонної динаміки популяцій, що особливо важливо для обґрунтування ефективної системи захисту культури від домінантних шкідників (Писаренко і Пономаренко, 2012).

Адаптація агротехнічних систем до сучасних кліматичних трансформацій включає важливу роль оптимізації зрошення. Зокрема, автори (Вожегова та ін., 2025) підкреслюють, що в умовах змін клімату особливо цінними є системи інтелектуального водокористування, які забезпечують стабільність продуктивності за обмежених водних ресурсів. Ці висновки сприяють обґрунтуванню інтегрованого підходу в захисті рослин, де агроресурсне управління функціонує як фундамент адаптивності агроєкосистем.

У дослідженні фітосанітарного інспектора К.І. Верещинської проаналізовано найнебезпечніші хвороби капустяних куль-

тур і методи боротьби з основними шкідниками, зокрема капустяною попелицею, біланом, совкою, ріпаковим пильщиком та іншими (Верещинська, 2022). Акцент зроблено на біологічному й агротехнічному захисті, зокрема й використанні ентомофагів, сівозміни, глибокої зяблевої оранки, а також застосування біологічних і хімічних засобів контролю. Також увага приділяється профілактиці грибкових захворювань, як-от переноспороз, фомоз, фузаріозне в'янення, а також бактеріозам. Матеріал містить практичні рекомендації щодо інтегрованого підходу в захисті капусти впродовж вегетаційного періоду та під час зберігання.

Структурні зміни в агроценозах (розширення посівів капустяних культур, ущільнення сівозмін, інтенсифікація технологій) у поєднанні зі зміною клімату істотно впливають на динаміку популяцій шкідників. Дослідники відзначають, що починаючи із 2000-х рр. в Україні спостерігається зростання чисельності фітофагів на посівах ріпаку й інших капустяних, що пов'язано як із розширенням площ під цими культурами, так і з потеплінням клімату. Господарське значення окремих видів шкідників змінюється залежно від регіону та погодних умов: так, спекотні сухі роки спричиняють спалахи розмноження хрестоцвітих блішок, тоді як теплі малосніжні зими сприяють кращій перезимівлі попелиці та молі (Дергун, 2021). Кліматичні зміни безпосередньо впливають на біологію комах-шкідників, прискорюють чи уповільнюють їхній розвиток, розмноження та розповсюдження (Skendžić et al., 2021). Підвищення середньорічних температур призводить до розширення ареалу багатьох поліфагів і появи їх у нових, раніше не заселених регіонах. Зокрема, модельні прогнози свідчать, що в помірних широтах потепління клімату супроводжуватиметься прискоренням темпів розвитку та зростанням чисельності популяцій фітофагів. Яскравим прикладом є капустяна міль: установлено, що за останні 50 років глобальне потепління розширило зону, де цей вид здатний перезимувати, більш ніж на 925 тисяч квадратних миль (Boyd, 2021). Кожне підвищення середньорічної температури на 1 °C потенційно додає ще приблизно 850 тис. квадратних миль до ареалу успішної перезимівлі *Plutella xylostella*. Це означає, що в регіонах, де раніше сильні морози обмежували виживання шкідника, зараз він може переживати зиму та давати більше поколінь на рік. Навіть більше, м'які зими

сприяють швидкій еволюції стійкості шкідника до інсектицидів, адже без зимового депопуляційного чинника більше особин виживає і піддається багаторазовим обробкам. Аналогічно, потепління клімату сприяє поширенню на північ таких теплолюбних шкідників, як білокрилка та трипси, які раніше не могли пережити зиму у відкритому ґрунті помірних широт. Зміна клімату також може опосередковано впливати на фітофагів через зміну взаємодії шкідник – рослина – ентомофаг: підвищення температури і CO₂ можуть порушувати синхронізацію розвитку шкідників та їхніх природних ворогів або змінювати стійкість рослин до пошкодження розповсюдження (Skendzić et al., 2021). У результаті аграрії в усьому світі очікують на появу нових небезпечних видів і посилення шкодочинності традиційних фітофагів унаслідок глобального потепління.

Кліматичні зміни, зокрема глобальне потепління, мають значний вплив на поширення шкідників і рівень їхньої стійкості до пестицидів, що становить серйозну загрозу для продовольчої безпеки у XXI ст. Так, за результатами дослідження Chun-Sen Ma та співавторів (2021 р.), підвищення температури за останні 50 років сприяло розширенню ареалу перезимівлі *Plutella xylostella* приблизно на 2,4 млн км². Виявлено прямий зв'язок між здатністю виду до перезимівлі та рівнем резистентності: у регіонах постійного проживання середній рівень стійкості до пестицидів був у 158 разів вищий, ніж у місцях тимчасової присутності. Отже, кліматичне потепління опосередковано сприяє еволюції та поширенню резистентності в одного з найбільш шкодочинних видів сільськогосподарських шкідників, що ускладнює наявні стратегії захисту рослин і може призвести до значних економічних втрат (Ma et al., 2021).

Окрім кліматичних чинників, важливу роль відіграють зміни технологій і структури посівів. Інтенсифікація виробництва капусти (ущільнення сівозмін, скорочення чорного пару, використання односторонніх добрив) може створювати сприятливі умови для розвитку шкідників і зниження регулюючої ролі природних ентомофагів. Зокрема, експериментальні дослідження на посівах капусти показали, що надмірне застосування інсектицидів пригнічує популяції хижаків і паразитоїдів (наприклад, оси, павуки), що спричиняє зростання шкодочинності – поля навіть із пошкодженнями, рівними або вищими за контрольні

(Bommarco et al., 2011). Серед таких заходів – вчасне виявлення та локалізація інвазійних видів (як-от іспанський слизняк), агротехнічні прийоми, що зменшують стрес рослин у посушливих умовах (раціональне зрошення, підбір посухостійких гібридів), та інші. Важливі постійний моніторинг агроценозу та гнучке планування захисту з урахуванням погодних аномалій і прогнозів розвитку шкідників.

У контексті сучасних кліматичних змін і трансформацій агровиробництва постає потреба в систематизації даних щодо формування ентомокомплексу капустяних культур у Правобережному Лісостепі України. Актуальним є виявлення чинників, які впливають на чисельність і видовий склад фітофагів, а також аналіз ролі агротехнічних і ландшафтних факторів у регуляції популяцій шкідників.

Метою нашого дослідження було здійснення теоретичного аналізу та візуалізація взаємозв'язків між кліматичними, агротехнічними та біоекологічними чинниками формування ентомофауни капусти біологічної в умовах Правобережного Лісостепу України.

Матеріал і методи

У процесі підготовки статті використано міждисциплінарний підхід до вивчення формування ентомокомплексу білокачанної капусти, зокрема в межах Правобережного Лісостепу України. Аналітична база ґрунтувалася на літературних джерелах (наукові статті, монографії, статистичні огляди, дані Укрґідрометцентру), опублікованих переважно у 2020–2024 рр., а також на результатах власних спостережень у межах наукової тематики аспірантської дисертації.

Джерела вибирались за такими критеріями, як: актуальність, регіональна релевантність, наявність польових або експериментальних даних щодо фітофагів капустяних культур. Основними базами пошуку були: Google Scholar, Наукова періодика України, DOAJ, а також фахові журнали категорії Б.

Особливу увагу приділено узагальненню даних про біологічні особливості основних шкідників, зміну їхньої сезонної активності й адаптивності до нових умов господарювання. Усі матеріали згруповано за видами шкідників, їхньою поведінкою в умовах кліматичних змін, а також за чинниками агротехнічного впливу.

Результати та їх обговорення

У Правобережному Лісостепі України основними шкідниками білокачанної капусти

залишаються представники різних систематичних груп: лускокрилі (*Plutella xylostella*, *Mamestra brassicae*), двокрилі (*Delia radicum*), твердокрилі (*Phyllotreta spp.*), рівнокрилі (*Brevicoryne brassicae*), а також трипси та деякі кліщі. Їхня шкідливість варіюється залежно від стадії розвитку рослин, метеоумов, типу ґрунту та системи обробітку.

Plutella xylostella (капустяна міль) – один із найнебезпечніших видів, здатний дати кілька генерацій за сезон. Її личинки виїдають тканини листя, утворюючи наскрізні отвори, що призводить до втрати товарного вигляду та зниження врожайності.

Delia radicum (капустяна муха) пошкоджує кореневу систему, що особливо небезпечно на ранніх фазах росту, коли рослина не здатна до регенерації. Уражені рослини в'януть, відстають у рості або гинуть.

Phyllotreta spp. (хрестоцвіті блішки) є типовими ранньовесняними шкідниками, які можуть спричинити значні пошкодження при сході культури, особливо в роки із сухою і теплою весною.

Brevicoryne brassicae (капустяна попелиця) формує щільні колонії на нижньому боці листків, висмоктуючи сік, що пригнічує ріст і сприяє появі вірусних інфекцій.

Комплексність і варіативність фауни шкідників вимагають диференційованого підходу до моніторингу та прогнозування шкодочинності кожного виду з урахуванням фенофаз культури й екологічних умов. Узагальнені характеристики основних шкідників білокачанної капусти в регіоні подано в табл. 1.

Кліматичні зміни, що спостерігаються останніми роками в Україні, істотно впли-

вають на фенологію та чисельність шкідників білокачанної капусти. Збільшення середньорічної температури, подовження вегетаційного періоду та зростання частоти посух і злив сприяють зміщенню фаз розвитку комах, появи нових генерацій і розширенню ареалів аридних видів. На рис. 1 візуалізовано основні кліматичні фактори, що впливають на ентомокомплекс капустяних культур, а також їхній ланцюг впливу на популяційну динаміку шкідників.



Рис. 1. Взаємозв'язок кліматичних факторів, шкідників і біоагентів захисту
Джерело: власна розробка

Зокрема, *Plutella xylostella*, традиційно обмежена двома-трьома поколіннями в регіоні, за сприятливих умов може роз-

Таблиця 1
Основні шкідники білокачанної капусти в умовах Правобережного Лісостепу України

Вид	Латинська назва	Ряд	Фаза пошкодження	Особливості біології	Реакція на кліматичні зміни
Капустяна міль	<i>Plutella xylostella</i>	Lepidoptera	листя	2–4 генерації	зміщення ареалу, більше поколінь
Капустяна муха	<i>Delia radicum</i>	Diptera	коренева система	1–2 генерації	активніша весною
Хрестоцвіта блішка	<i>Phyllotreta spp.</i>	Coleoptera	листя (сходи)	ранньовесняна активність	спалахи в сухі та теплі весни
Капустяна попелиця	<i>Brevicoryne brassicae</i>	Hemiptera	листя	формує колонії, партеногенез без відкладання яєць	продовження активності восени
Совка капустяна	<i>Mamestra brassicae</i>	Lepidoptera	листя, качан	до 2 генерацій	зростання чисельності в теплі роки

виватися в чотирьох генераціях. Подібні тенденції спостерігаються і для *Mamestra brassicae* – інтенсивне накопичення температурного ресурсу сприяє скороченню тривалості стадій і збільшенню репродуктивного потенціалу.

Зміни клімату також впливають на сезонну активність шкідників. Наприклад, хрестоцвіті блішки з'являються раніше, іноді ще до висіву культури, що ускладнює захист рослин у фазі сходів. З іншого боку, теплі осені сприяють затягуванню життєвого циклу попелиці, що зберігає активні колонії до настання заморозків.

Окрім кількісних змін, варто відзначити якісні трансформації у складі ентомофауни. У деяких регіонах фіксується поява нових фітофагів, нетипових для капусти, зокрема мінуючих мух і нічних, що раніше були властиві південним зонам.

Отже, адаптація шкідників до нових кліматичних умов потребує перегляду традиційних прогнозних моделей і створення нових регіоналізованих схем моніторингу з урахуванням гнучких фенологічних меж.

Сівозміна є одним із найважливіших агротехнічних чинників, що впливають на структуру та чисельність шкідників капустяних культур. У регіонах із високою концентрацією посівів білокачанної капусти або без дотримання чергування культур фіксується накопичення ентомофагів, зокрема *Plutella xylostella*, *Pieris brassicae*, *Mamestra brassicae*, які здатні зберігатися у ґрунті або як залишки попередників.

Ротація культур із залученням нетипових для хрестоцвітих представників (наприклад, зернових, бобових) сприяє порушенню біологічного циклу шкідників, що знижує ентомологічне навантаження. Натомість повторне вирощування капусти на одній площі навіть упродовж двох сезонів суттєво підвищує ризик масових уражень, особливо за відсутності міжсезонних заходів очищення поля.

Щільність посадки безпосередньо впливає на мікроклімат у межах посіву, що, у свою чергу, впливає на ентомофауну. Згущені насадження створюють вологі затінені умови, сприятливі для розвитку трипсів, попелиці та капустяної мухи, тоді як надмірна відкритість сприяє перегріванню та активізації лускокрилих фітофагів.

Оптимізація сівозмін і норм висіву є ключовим елементом профілактичного захисту, що здатний зменшити потребу в хімічному втручанні та підвищити ефективність інтегрованих систем контролю шкідників.

У результаті аналізу впливу агротехнічних заходів на чисельність та видовий склад шкідників капустяних культур була побудована узагальнена схема (рис. 2), яка демонструє зв'язок між вибором сівозміни, структури посівів, розміщенням агроценозів і характером формування ентомокомплексу.



Рис. 2. Схема взаємозв'язку агротехнічних чинників і формування ентомофауни капусти білоголової

Роль фітоценозу – тобто видової структури рослинного покриву навколо посівів капусти – має вирішальне значення для формування збалансованого ентомокомплексу. Багаторічні спостереження в умовах Правобережного Лісостепу свідчать, що чим вищий ступінь розмаїття природної або напівприродної рослинності поблизу агроценозу, тим більше в ньому стабілізуючих елементів – насамперед ентомофагів і опосередкованих регуляторів.

Наявність квіткових смуг, лісосмуг, неораних облямівок полів і залишків природної рослинності сприяє збереженню корисної ентомофауни, зокрема паразитичних ос, хижих жуків – жувелиць, двокрилих і мурах. Такі буферні зони забезпечують міграційні шляхи, підвищують біорізноманіття та створюють умови для природного контролю чисельності шкідників.

Просторова ізоляція посівів капусти – зокрема, дотримання відстані понад 500 м від інших хрестоцвітих культур і чергування з несприятливими для фітофагів культурами (зернові, бобові) – знижує міграційний тиск і перешкоджає формуванню осередків шкідників.

У практиці інтегрованого й органічного виробництва дедалі більше значення нада-

ється ландшафтному плануванню, що враховує структуру навколишньої рослинності. Що вищий рівень розмаїття фітоценозу навколо посівів, то стійкішим є ентомокомплекс, а біологічна рівновага – стабільнішою.

Висновки

На підставі проведеного дослідження встановлено, що формування ентомокомплексу білоголової капусти у Правобережному Лісостепі України зумовлене сукупною дією кліматичних змін, технологічних рішень і просторової організації агроценозів. Основними чинниками, які визначають чисельність і видовий склад шкідників, є: підвищення середньорічних температур, що сприяє прискоренню розвитку фітофагів, збільшенню кількості генерацій і розширенню ареалів поширення теплолюбних видів; порушення сівозмін та інтенсифікація виробництва, які створюють умови для накопичення спеціалізованих шкідників; зниження біорізнома-

нїття агроландшафтів, що обмежує чисельність природних ентомофагів і посилює шкодочинність фітофагів; використання пестицидів без урахування динаміки ентомофауни, що призводить до резистентності та зростання потреби в обробках.

Найбільш ефективними підходами до зменшення ентомологічного навантаження є: впровадження ротації культур із чергуванням неспоріднених видів; збереження природних буферних зон, які забезпечують виживання і функціонування ентомофагів; просторова ізоляція посівів капусти від інших хрестоцвітих; регулярний моніторинг ентомофауни з урахуванням кліматичних змін. Запропонована схема впливу агротехнічних і кліматичних факторів на ентомофауну може бути використана як основа для регіоналізованого планування інтегрованих систем захисту рослин і адаптації агротехнологій до умов глобального потепління.

Список використаної літератури

- Верецька К.І. Захист капусти від шкідників і хвороб [Електронний ресурс]. URL: <https://rustomytu-gromada.gov.ua/news/1653630406/> (дата звернення 12.07.2025).
- Вожегова Р.А., Паливода О.М., Деркач А.О. та ін. Інтегрований захист рослин в умовах змін клімату. *Інноваційні технології та системи захисту рослин* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон : ДВНЗ «ХДАЕУ», 2025. С. 45–49.
- Дергун Р. Шкідливі перспективи. *Український фермер*. 2021. 30 квітня [Електронний ресурс]. URL: <https://agrotimes.ua/article/shkidlyvi-perspektivu/> (дата звернення 11.06.2025).
- Куц О.В. Вплив біопрепаратів на продуктивність та якість капусти білоголової за різних систем удобрення в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва* : матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Харків, 24 листопада 2024 р. С. 166–167.
- Макуха О.В. Система фітосанітарного моніторингу шкідників ріпаку озимого в умовах півдня України. *Таврійський науковий вісник*. 2020. Вип. 114. С. 69–77. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.114.10>.
- Мостов'як І.І., Дем'янюк О.С. Чинники дестабілізації фітосанітарного стану агроценозів зернових культур Центрального Лісостепу України. *Збалансоване природокористування*. 2020. № 2. С. 73–84. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2020.208812>.
- Писаренко В.М., Пономаренко С.В. Основні листогризучі шкідники капусти білоголової в Полтавській області. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2012. № 1. С. 14–15.
- Сергієнко В.Г., Ткаленко Г.М., Борзих О.І., Шита О.В. Біоконтроль хвороб овочевих культур за використання препаратів на основі *Bacillus subtilis*. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. 2024. № 3 (3). С. 61–72.
- Щетина С.В., Мостов'як І.І., Федоренко В.П. Ентомокомплекс редиски у відкритому ґрунті в центральній частині Правобережного Лісостепу України. *Карантин і захист рослин*. 2024. № 1. С. 3–8. <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2024.1.3-8>.
- Щетина С.В. Домінуючі види шкідників редиски (*Raphanus sativus* L. convar. *radicula* Pers Sazon.) у Правобережному Лісостепі України. *Агроекологічний журнал*. 2023. № 4. С. 149–157. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2023.293786>.
- Bommarco R., Miranda F., Bylund H., Björkman C. et al. Insecticides Suppress Natural Enemies and Increase Pest Damage in Cabbage. *Journal of Economic Entomology*. 2011. № 104 (3). P. 782–791. <https://doi.org/10.1603/EC10444>.
- Boyd J. Crop-eating moths will flourish as the climate warms. *Rice University News*. 2021. 13.09 [Електронний ресурс]. URL: <https://news.rice.edu/news/2021/crop-eating-moths-will-flourish-climate-warms> (дата звернення 11.06.2025).
- Ma C.-S., Zhang W., Rudolf V.H.W. et al. Climate warming promotes pesticide resistance through expanding overwintering range of a global pest. *Nature Communications*. 2021. № 12. P. 5351. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25641-9>.
- Skendžić S., Zovko M., Živković I.P., Lešić V., Šprung M. The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*. 2021. № 12 (5). Art. 440. <https://doi.org/10.3390/insects12050440>.

Zheng X., Koopmann B., Ulber B., von Tiedemann A. A global survey on diseases and pests in oilseed rape – current challenges and innovative strategies of control. *Frontiers in Agronomy*. 2020. № 2. P. 590908. <https://doi.org/10.3389/fagro.2020.590908>.

References

Vereshchynska, K.I. (n.d.). Zakhyst kapusty vid shkidnykiv i khvorob [Cabbage protection against pests and diseases]. [Electronic resource] URL: <https://pustomyty-gromada.gov.ua/news/1653630406/> (access date 12.07.2025) [in Ukrainian].

Vozhehova, R.A., Palyvoda, O.M., & Derkach, L.O., et al. (2025). Intehrovanyi zakhyst roslyn v umovakh zmin klimatu [Integrated plant protection under climate change]. *Materialy mizhnarodnoyi nauk.-pr. konf. "Innovatsiini tekhnolohii ta systemy zakhystu roslyn"*, Kherson: DVNZ "KhDAEU", 45–49. [in Ukrainian].

Dergun, R. (2021, April 30). Shkidlyvi perspektyvy [Harmful perspectives]. *Ukrainskyi Fermer – The Ukrainian Farmer*. <https://agrotimes.ua/article/shkidlyvi-perspektyvy/> (access date 11.06.2025) [in Ukrainian].

Kuts, O.V. (2024). Vplyv biopreparativ na produktyvnist ta yakist kapusty biloholovoi za riznykh system udobrennia v umovakh Livoberezhnoho lisostepu Ukrainy [The effect of biopreparations on productivity and quality of white cabbage under different fertilization systems in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Materialy VIII Mizhnarodnoyi nauk.-pr. konf. "Naukovi zasady pidvyshchennia efektyvnosti silskohospodarskoho vyrobnytstva"*, Kharkiv, 166–167. [in Ukrainian].

Makukha, O.V. (2020). Systema fitosanitarnoho monitorynhu shkidnykiv ripaku ozymoho v umovakh pivdnia Ukrainy [System of phytosanitary monitoring of winter oilseed rape pests in the south of Ukraine]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk – Tavria Scientific Bulletin*, 114, 69–77. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.114.10> [in Ukrainian].

Mostoviak, I.I., & Demianiuk, O.S. (2020). Chynnyky destabilizatsii fitosanitarnoho stanu ahrotsenziv zernovykh kultur Tsentralnoho Lisostepu Ukrainy [Factors of destabilization of phytosanitary condition of cereal agrocenoses of Central Forest-Steppe of Ukraine]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannya – Balanced Nature Management*, 2, 73–84. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2020.208812> [in Ukrainian].

Pysarenko, V.M., & Ponomarenko S.V. (2012). Osnovni lystohryzuchi shkidnyky kapusty biloholovoi v Poltavskii oblasti [Main leaf-eating pests of white cabbage in Poltava region]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii – Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 1, 14–15 [in Ukrainian].

Serhiienko, V.H., Tkalenko, H.M., Borzyk, O.I., & Shyta, O.V. (2024). Biokontrol khvorob ovochevykh kultur za vykorystannia preparativ na osnovi *Bacillus subtilis* [Biocontrol of vegetable crop diseases using *Bacillus subtilis*-based preparations]. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 3 (3), 61–72 [in Ukrainian].

Shchetina, S.V. (2023). Dominuiuchi vydu shkidnykiv redysky (*Raphanus sativus* L. convar. *radicula Pers Sazon.*) u Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [Dominant pest species of radish in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Ahroekolohichniy zhurnal – Agroecological Journal*, 4, 149–157. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2023.293786> [in Ukrainian].

Shchetina, S., Mostoviak, I., & Fedorenko, V. (2024). Entomokompleks redysky u vidkrytomu grunti v Tsentralnii chastyni Pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Radish entomocomplex in open soil in the central part of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Karantyn i zakhyst roslyn – Quarantine and Plant Protection*, 1, 3–8. <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2024.1.3-8> [in Ukrainian].

Bommarco, R., Miranda, F., Bylund, H., & Björkman, C. (2011). Insecticides suppress natural enemies and increase pest damage in cabbage. *Journal of Economic Entomology*, 104 (3), 782–791. <https://doi.org/10.1603/EC10444>.

Boyd, J. (2021, September 13). Crop-eating moths will flourish as the climate warms. *Rice University News*. <https://news.rice.edu/news/2021/crop-eating-moths-will-flourish-climate-warms> (access date 11.06.2025).

Ma, C.-S., Zhang, W., & Rudolf, V.H.W., et al. (2021). Climate warming promotes pesticide resistance through expanding overwintering range of a global pest. *Nature Communications*, 12, 5351. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25641-9>.

Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I.P., Lešić, V., & Šprung, M. (2021). The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, 12 (5), Article 440. <https://doi.org/10.3390/insects12050440>.

Zheng, X., Koopmann, B., Ulber, B., & von Tiedemann, A. (2020). A global survey on diseases and pests in oilseed rape – current challenges and innovative strategies of control. *Frontiers in Agronomy*, 2, 590908. <https://doi.org/10.3389/fagro.2020.590908>.

Отримано: 03.07.2025

Прийнято: 05.09.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 632.93:581.9:635.63

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.27>

БІОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ ОГІРКІВ (*CUCUMIS SATIVUS L.*) ВІД ХВОРОБ У ЗАКРИТОМУ ҐРУНТІ: СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ

В. Ю. Пелих¹

Хвороби огірків у тепличних умовах залишаються серйозною загрозою для виробництва, тоді як традиційні хімічні методи захисту супроводжуються екологічними й економічними ризиками, що зумовлює необхідність пошуку альтернативних рішень. Метою огляду є систематизація сучасних знань про біологічні методи захисту огірків від хвороб у закритому ґрунті. Встановлено, що основними збудниками є грибні патогени (*Fusarium spp.*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium spp.*) і оомікоти (*Pseudoperonospora cubensis*), які спричиняють кореневі гнилі, в'янення та листкові захворювання з потенційними втратами врожаю до 70%. Показано, що сучасний біологічний захист огірків у закритому ґрунті базується на застосуванні антагоністичних мікроорганізмів (грибів і бактерій), арбускулярних мікоризних грибів і препаратів на їх основі. Біологічний контроль за участю *Trichoderma spp.*, *Bacillus spp.*, *Pseudomonas spp.* забезпечує високу ефективність завдяки поєднанню механізмів антагонізму, мікопаразитизму та стимуляції системної стійкості рослин.

Додатково арбускулярні мікоризні гриби підвищують стійкість огірків до ґрунтових патогенів, покращують мінеральне живлення та загальний фізіологічний стан рослин. Зроблено висновок, що біологічні методи є екологічно безпечними, не призводять до накопичення токсичних залишків у продукції, не сприяють розвитку резистентності в патогенів і можуть застосовуватися протягом тривалого часу. Найвищої ефективності досягають інтегровані системи захисту, що поєднують біологічні засоби з агротехнічними прийомами, вироцунням стійких сортів і оптимізацією умов культивування. Водночас біологічні засоби потребують профілактичного застосування та врахування впливу зовнішніх чинників. Перспективи розвитку біологічного захисту пов'язані зі створенням нових високоефективних штамів, локально адаптованих препаратів, а також інтеграцією біотехнологічних і генетичних підходів. Обґрунтовано доцільність упровадження біологічних методів як ефективної альтернативи хімічним засобам, що відповідає принципам екологічної безпеки та сталого розвитку аграрного сектору. Наведено рекомендації щодо підвищення ефективності застосування біологічних препаратів у системі захисту огірків у закритому ґрунті.

Ключові слова: патогени, оомікоти, антагоністичні мікроорганізми, арбускулярні мікоризні гриби, стійкість, екологічна безпека.

¹ аспірант кафедри захисту рослин
(Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава)
e-mail: vladyslav.pelykh@pdau.edu.ua
ORCID: 0009-0000-9518-0494

BIOLOGICAL METHODS FOR DISEASE CONTROL OF CUCUMBER (*CUCUMIS SATIVUS* L.) IN PROTECTED CULTIVATION: CURRENT STATE AND PROSPECTS

V. Yu. Pelykh

*Cucumber diseases under greenhouse conditions remain a serious threat to production, while conventional chemical protection methods are associated with significant environmental and economic risks, necessitating the search for alternative solutions. The purpose of this review is to systematize current knowledge on biological methods for cucumber disease control in protected cultivation. It has been established that the main causative agents are fungal pathogens (*Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani*, *Pythium* spp.) and oomycetes (*Pseudoperonospora cubensis*), which cause root rots, wilting, and foliar diseases, with potential yield losses of up to 70%. Modern biological protection of cucumbers in protected cultivation is based on the use of antagonistic microorganisms (fungi and bacteria), arbuscular mycorrhizal fungi, and commercial preparations based on them. Biological control involving *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp., and *Pseudomonas* spp. ensures high effectiveness through a combination of antagonism, mycoparasitism, and stimulation of plant systemic resistance. Additionally, arbuscular mycorrhizal fungi enhance cucumber resistance to soil-borne pathogens, improving mineral nutrition and the general physiological state of plants. It is concluded that biological methods are environmentally safe, do not lead to toxic residue accumulation in products, do not contribute to pathogen resistance development, and can be used over extended periods. The highest effectiveness is achieved through integrated protection systems that combine biological agents with agronomic practices, the use of resistant cultivars, and optimization of growing conditions. At the same time, biological agents require preventive application and consideration of environmental factors. The prospects for developing biological protection involve creating new highly effective strains, locally adapted formulations, and the integration of biotechnological and genetic approaches. The expediency of implementing biological methods as an effective alternative to chemical agents has been substantiated, aligning with the principles of environmental safety and sustainable agricultural development. Recommendations are provided for improving the effectiveness of biological products in cucumber protection systems in protected cultivation.*

Key words: pathogens, oomycetes, antagonistic microorganisms, arbuscular mycorrhizal fungi, resistance, environmental safety.

Вступ

Вирощування огірків у закритому ґрунті є одним із найбільш поширених і економічно вигідних напрямів овочівництва в Україні та світі (Núñez-Paleniús et al., 2022). Тепличне вирощування дозволяє отримувати високі врожаї протягом цілого року, незалежно від погодних умов, та забезпечує стабільний попит на свіжі овочі на ринку. Водночас специфічні умови закритого ґрунту – підвищена вологість, стабільна температура й обмежена циркуляція повітря – створюють сприятливе середовище для розвитку різноманітних фітопатогенних мікроорганізмів (Plocek et al., 2024).

Проблема хвороб огірків у тепличних умовах набуває особливої гостроти через інтенсивний характер вирощування та можливість швидкого поширення інфекції в замкнутому просторі. Основними збудниками є гриби, бактерії та оомікоти, що спричиняють кореневі гнилі, в'янення, плямистості листя та інші захворювання, які можуть призвести до значних втрат урожаю та погіршення якості продукції (Shoukry et al., 2021).

Традиційні хімічні засоби захисту, хоча й демонструють високу ефективність, мають суттєві недоліки: накопичення залишків пестицидів у продукції, розвиток резистентності в патогенів, негативний вплив на корисну мікрофлору ґрунту та навколишнє середовище, а також через зростання вимог споживачів до екологічно чистої продукції (Osman et al., 2023). Ці чинники стимулюють пошук альтернативних, екологічно безпечних методів контролю хвороб.

Біологічні методи захисту рослин належать до перспективного напрямку, що базується на використанні природних антагоністів патогенів, індукції природного імунітету рослин і створенні несприятливих умов для розвитку хвороботворних мікроорганізмів (Sun et al., 2022). Ці методи характеризуються екологічною безпекою, відсутністю токсичних залишків, сумісністю із природними екосистемами та можливістю тривалого використання без розвитку резистентності.

Мета огляду полягає в систематизації сучасних знань про біологічні методи захисту огірків від хвороб у закритому ґрунті,

аналізі їхньої ефективності та перспектив практичного застосування. Завданнями роботи є характеристика основних хвороб огірків у тепличних умовах, огляд сучасних біологічних засобів контролю, аналіз інтегрованих стратегій захисту та формулювання практичних рекомендацій для впровадження біологічних методів у виробництво.

Матеріал і методи

Робота ґрунтується на результатах аналізу наукової літератури й оригінальних даних багаторічних натурних досліджень вітчизняних та іноземних фахівців, зокрема й неопублікованих результатах власних спостережень.

Результати та їх обговорення

Основні хвороби огірків у закритому ґрунті. Кореневі та прикореневі гнилі є однією з найбільш поширених і шкідливих груп захворювань огірків у закритому ґрунті. Основними збудниками цих хвороб є комплекс грибних патогенів, що включає *Fusarium spp.*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium spp.*, *Macrophomina phaseolina* і *Ascochyta cucumis* (Rose et al., 2003).

Fusarium spp. представлений переважно видами *F. oxysporum*, *F. solani* та *F. culmorum*. Ці гриби характеризуються високою живучістю у ґрунті, здатністю утворювати хламідоспори та склероції, що забезпечує їх тривале збереження в несприятливих умовах. Біологічною особливістю фузаріумів є їхня здатність проникати в рослину через кореневі волоски та механічні пошкодження, після чого міцелій поширюється судинною системою (Akhter et al., 2016).

Rhizoctonia solani відзначається широкою спеціалізацією і агресивністю. Гриб утворює характерні склероції темно-коричневого кольору та може уражувати рослини на всіх стадіях розвитку. Особливістю патогена є його здатність до сапрофітного існування на рослинних рештках, що ускладнює контроль захворювання (Пелих та ін., 2023).

Pythium spp. належать до оомікотів і характеризуються утворенням ооспор і зооспор. Ці патогени особливо активні в умовах підвищеної вологості та можуть швидко поширюватися через поливну воду. Механізм ураження включає ферментативне руйнування клітинних стінок кореня та проникнення міцелію у тканини рослини (Zerillo et al., 2013).

Macrophomina phaseolina утворює характерні мікросклероції чорного кольору. Патоген активізується за підвищених температур і може тривало зберігатися у ґрунті.

Ascochyta cucumis спричиняє аскохітоз, що проявляється некротичними плямами на корінні та прикореневій частині стебла (Shishido et al., 2016).

Вертицильозне в'янення спричиняється *Verticillium albo-atrum* – судинним патогеном, що проникає в рослину через кореневу систему та поширюється ксилемними судинами. Гриб утворює мікросклероції, які можуть зберігатися у ґрунті протягом багатьох років. Патоген характеризується здатністю до утворення токсинів, що порушують водний баланс рослини та спричиняють характерні симптоми в'янення. Біологічною особливістю *V. albo-atrum* є його температурний оптимум розвитку 22–25 °С, що робить його особливо небезпечним в умовах помірного клімату. Патоген може існувати як сапрофіт на рослинних рештках, що забезпечує накопичення інфекційного потенціалу у ґрунті (Radišek et al., 2003).

Фузаріозне в'янення, що спричиняється *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*, є високоспеціалізованою формою, що уражує суто представників родини гарбузових (Gordon, 2017). Патоген проникає в рослину через кореневі волоски та поширюється судинною системою, призводить до закупорки ксилемних судин міцелієм і токсинами.

Особливістю фузаріозного в'янення є поетапність розвитку: спочатку уражується коренева система, потім патоген поширюється вгору по стеблу, призводить до характерного однобічного в'янення листя. Гриб утворює три типи спор: мікроконідії, макроконідії та хламідоспори, останні з яких забезпечують тривале збереження патогена у ґрунті (Zhang et al., 2016).

Рівень захворюваності зазвичай становить 10–30%, однак у несприятливі роки може досягати 50%. Втрати врожаю коливаються від 10 до 50%, а в окремих випадках можливе цілковите його знищення (Ahammed et al., 2020). Посилення захворюваності зумовлене тривалим безперервним вирощуванням культури, виснаженням ґрунту та дисбалансом мікробної флори (Chang et al., 2017).

Пероноспороз, або несправжня борошниста роса, спричиняється *Pseudoperonospora cubensis* – облігатним паразитом із класу оомікотів (Thomas et al., 2017). Патоген характеризується дуже вузькою спеціалізацією й уражує суто представників родини гарбузових. Протягом останнього десятиліття цей патоген став більш шкідливим, спричиняє тяжчий перебіг захворювання.

На інтенсивність зараження та розвиток несправжньої борошнистої роси істотно впливають погодні умови. Листяний некроз розвивається швидше за спекотної та сухої погоди, тоді як низька температура та висока вологість не перешкоджають зараженню (Lebeda & Cohen, 2011; Savory et al., 2011). Водночас точний вплив цих чинників на динаміку щоденного зараження патогеном залишається не досить з'ясованим (Neufeld et al., 2017).

Механізм інфекції включає проникнення зооспор через прорихи листя, утворення гаусторіїв для живлення та розвиток міцелію в міжклітинних просторах. Патоген утворює спорангіофори зі спорангіями на нижній поверхні листя, що забезпечує масове утворення інфекційного матеріалу (Núñez-Palenius et al., 2022).

Sphaerotheca fuliginea (син. *Podosphaera xanthii*) є збудником справжньої борошнистої роси огірків. Це облигатний паразит, що розвивається на поверхні листя, утворює характерний білий наліт міцелію. Патоген має складний життєвий цикл з утворенням конідій для безстатевого розмноження та клейстотеціїв для статевого. Особливістю патогена є його здатність розвиватися за відносно низької вологості повітря (50–70%), на відміну від більшості грибних хвороб. Гриб утворює гаусторії для живлення, що проникають в епідермальні клітини рослини-хазяїна (McGrath, 2001).

Несправжня борошниста роса спричиняється *Pseudoperonospora cubensis*. Цей патоген відрізняється від справжньої борошнистої роси локалізацією (розвивається всередині тканин листя), вимогами до вологості (потребує високої вологості) та симптомами (жовті плями на верхній поверхні листя із сірувато-фіолетовим нальотом на нижній) (Lebeda & Cohen, 2011).

Біологічні методи контролю хвороб огірків. *Trichoderma* spp. є найбільш вивченою та широко використовуваною групою грибів-антагоністів. Основними видами є *T. harzianum*, *T. viride*, *T. koningii* та *T. asperellum* (Harman et al., 2004). Ці гриби характеризуються швидким ростом, здатністю колонізувати ризосферу та множинними механізмами антагоністичної дії (Al-Aswad et al., 2021).

Механізми дії *Trichoderma* включають: пряму конкуренцію за поживні речовини та простір, мікопаразитизм через утворення літичних ферментів (хітиназ, β-глюканаз, протеаз), продукцію антибіотичних речо-

вин (віридин, глівіотоксин, триходермін) та індукцію системної стійкості рослин через активацію захисних механізмів (Abdelfatah et al., 2025).

Gliocladium spp. (*G. virens*, *G. roseum*) демонструють високу ефективність проти ґрунтових патогенів, особливо *Rhizoctonia solani* та *Sclerotium rolfsii*. Ці гриби продукують широкий спектр антибіотиків, зокрема й глівіотоксин і віридин, а також характеризуються здатністю до швидкої колонізації ризосфери (Howell et al., 2008).

Coniothyrium minitans є специфічним мікопаразитом склероціальних грибів. Цей антагоніст особливо ефективний проти *Sclerotinia sclerotiorum* та *Sclerotium cepivorum*, проникають у склероції через ферментативне руйнування їхньої оболонки та споживають внутрішній вміст (Zhao et al., 2020).

Bacillus spp. представлені переважно видами *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. pumilus* та *B. licheniformis*. Ці спороутворювальні бактерії характеризуються високою стійкістю до несприятливих умов і здатністю продукувати широкий спектр антимікробних сполук.

Механізми дії бацил включають продукцію антибіотиків (субтилізин, бацитрацин, поліміксин), літичних ферментів, сидерофорів для зв'язування заліза, а також індукцію системної стійкості рослин. Особливістю цих бактерій є їхня здатність до ефективної колонізації кореневої системи й утворення біоплівки.

Pseudomonas spp. (*P. fluorescens*, *P. putida*, *P. aureofaciens*) є грамнегативними бактеріями, що колонізують ризосферу та продукують флуоресцентні пігменти. Ці бактерії характеризуються продукцією сидерофорів, антибіотиків (2,4-діацетилфлороглюцинол, піолютеорин, фенізин) та індукцією системної стійкості (Paulitz & Bélanger, 2001).

Streptomyces spp. є актиноміцетами, що продукують широкий спектр антибіотиків і літичних ферментів. Ці мікроорганізми особливо ефективні проти грибних патогенів завдяки продукції хітиназ і β-глюканаз (Prapagdee et al., 2008).

Сучасний ринок біопрепаратів для захисту рослин представлений широким асортиментом національних і зарубіжних продуктів. Серед українських розробок варто відзначити Триходермін® (на основі *Trichoderma lignorum*), Планриз® (на основі *Pseudomonas fluorescens*), Фітоспорин-М® (на основі *Bacillus subtilis*) та Гаупсин® (на основі *Pseudomonas aureofaciens*).

Зарубіжні біопрепарати включають RootShield® (*Trichoderma harzianum*), SoilGard® (*Gliocladium virens*), Kodiak® (*Bacillus subtilis*), BlightBan® (*Pseudomonas fluorescens*) та Contans® (*Coniothyrium minitans*).

Ефективність біопрепаратів проти конкретних патогенів варіює залежно від штаму мікроорганізму, концентрації, умов застосування та стадії розвитку хвороби (Girma, 2022). Препарати на основі *Trichoderma* демонструють високу ефективність проти корневих гнилей, спричинених *Fusarium* (70–81%) і *Rhizoctonia* (68–74%) (Asad et al., 2014; Arenas et al., 2018). Бактеріальні препарати показують кращі результати проти бактеріальних інфекцій і як індуктори стійкості.

Арбускулярні мікоризні гриби (далі – АМГ) з відділу *Glomeromycota* утворюють симбіотичні відносини з кореневою системою огірків, значно підвищують стійкість рослин до ґрунтових патогенів. Основними родами є *Glomus*, *Gigaspora*, *Scutellospora* і *Acaulospora* (Ahammed et al., 2020).

Механізми захисту через АМГ включають фізичний бар'єр (мікоризна мантія навколо коренів), конкуренцію за поживні речовини, продукцію антимікробних сполук та індукцію системної стійкості рослини (Aseel et al., 2019). Мікоризація також покращує фосфорне та мінеральне живлення, водний баланс і загальну життєздатність рослин (Чайка, 2025).

Ефективність мікоризних грибів особливо виражена проти патогенів, що уражують кореневу систему (*Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*), де спостерігається зниження інтенсивності ураження на 40–44% порівняно з контролем (Aljawasim et al., 2020).

Біологічний контроль листкових хвороб огірків має свої особливості, пов'язані з необхідністю забезпечення адгезії біоагентів на поверхні листя та їхньої активності в умовах змінної вологості.

Проти пероноспорозу ефективними є препарати на основі *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* і *Trichoderma harzianum*. Ці мікроорганізми діють через конкуренцію за поживні речовини, продукцію антимікробних сполук та індукцію захисних реакцій рослини (Lian et al., 2023).

Для контролю борошнистої роси використовуються біофунгіциди на основі *Ampelomyces quisqualis* (гіперпаразит борошністоросяних грибів), *Bacillus pumilus* і рослинні екстракти з антигрибною актив-

ністю (Dobrzyński et al., 2023; Kimura et al., 2023).

Фітоекстракти із часнику, цибулі, хвоща польового й інших рослин демонструють фунгістатичну дію проти широкого спектра листкових патогенів. Ці засоби містять природні фунгіциди (алліцин, сапоніни, флавоноїди) та індуктори стійкості (Hafez et al., 2018).

Інтегровані стратегії захисту. Найбільшої ефективності біологічні методи досягають за їх поєднання з агротехнічними прийомами й іншими елементами інтегрованого захисту рослин. Основою такого підходу є створення несприятливих умов для патогенів за одночасного посилення захисних механізмів рослин (Romero et al., 2007).

Агротехнічні прийоми включають оптимізацію режимів поливу та живлення, забезпечення належної вентиляції, дотримання сівозміни (навіть у теплицях через зміну культур за сезонами), використання здорового посадкового матеріалу та знезараження субстратів (Schnelle & Rebek, 2017).

Сумісність біопрепаратів з іншими засобами захисту потребує ретельного планування. Більшість біологічних агентів несумісні з фунгіцидами широкого спектра дії, але можуть поєднуватися із селективними препаратами й індукторами стійкості. Важливим є дотримання інтервалів між обробками та врахування рН середовища (Saad et al., 2020).

Перспективними є схеми, що включають профілактичне внесення біопрепаратів у ґрунт або субстрат, регулярні обробки рослин індукторами стійкості, використання стійких сортів і гібридів, а також моніторинг фітосанітарного стану посівів для своєчасного втручання (Riseh et al., 2022).

Перспективи біологічних методів. Розвиток біологічних методів захисту огірків у закритому ґрунті потребує створення нових, більш ефективних біопрепаратів, адаптованих до конкретних умов вирощування (Saber-Riseh et al., 2021). Перспективними напрямками є селекція штамів антагоністів з підвищеною конкурентоспроможністю, стійкістю до несприятливих чинників і широким спектром дії (Riseh et al., 2022).

Необхідними є локальні випробування біопрепаратів у різних типах теплиць і субстратів, оскільки ефективність біологічних агентів може значно варіювати залежно від умов. Особливої уваги потребує вивчення взаємодії біоагентів з корисною мікрофлорою та розроблення комплексних мікробних препаратів (Saber-Riseh et al., 2021).

Генетика стійкості огірків до хвороб відкриває можливості для поєднання природної стійкості рослин з біологічними методами захисту. Маркер-асоційована селекція дозволяє створювати сорти та гібриди із множинною стійкістю до різних патогенів, що значно підвищує ефективність біологічного контролю.

Перспективним є також розвиток біотехнологічних методів виробництва біопрепаратів, зокрема й мікроінкапсуляція біоагентів, створення пролонгованих форм і розроблення систем контрольованого вивільнення активних речовин (Qi et al., 2023).

Практичні рекомендації. Біологічні методи захисту мають низку переваг, як-от: екологічна безпека, відсутність резистентності патогенів, сумісність із природними екосистемами, можливість тривалого використання та покращення мікробіологічної активності ґрунту. Водночас існують обмеження: нижча швидкість дії порівняно з хімічними засобами, залежність від умов навколишнього середовища, необхідність профілактичного застосування та вища вартість деяких препаратів.

Для успішного впровадження біологічних методів рекомендується:

1. Профілактичне застосування: біопрепарати треба вносити до появи симптомів хвороби, бажано на стадії підготовки ґрунту або висіву насіння.

2. Комплексний підхід: поєднання різних біологічних агентів і методів для забезпечення синергетичного ефекту.

3. Оптимізація умов: забезпечення оптимальних температури, вологості та рН для активності біоагентів.

4. Регулярність обробок: дотримання рекомендованих інтервалів між застосуваннями для підтримання ефективних концентрацій біоагентів.

5. Моніторинг ефективності: регулярне оцінювання стану рослин і корекція схем захисту, у разі необхідності.

Упровадження біологічних методів захисту огірків у закритому ґрунті є перспективним напрямом, що забезпечує отримання екологічно безпечної продукції зі збереженням високих урожаїв і рентабельності виробництва, надає додаткові екологічні переваги та має практичне значення для розвитку сталого сільського господарства (Hyder et al., 2023).

Висновки

На основі проведеного аналізу встановлено, що основними збудниками хво-

роб огірків у закритому ґрунті є комплекс грибних патогенів (*Fusarium spp.*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium spp.*) і оомікотів (*Pseudoperonospora cubensis*), які спричиняють кореневі гнилі, в'янення та листові захворювання, здатні призводити до значних втрат урожаю. Біологічні методи захисту, зокрема використання антагоністичних мікроорганізмів демонструють високу ефективність у контролі фітопатогенів завдяки множинним механізмам дії, включаючи конкуренцію, антагонізм, мікопаразитизм та індукцію системної стійкості рослин. Застосування біологічних засобів гарантує екологічну безпеку, відсутність токсичних залишків у продукції, сумісність із природними екосистемами, а також запобігає розвитку резистентності патогенів. Сучасний ринок пропонує широкий вибір біопрепаратів як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва, адаптованих до різних умов вирощування. Особливе значення має використання арбускулярних мікоризних грибів, які підвищують стійкість огірків до ґрунтових патогенів, покращують водно-мінеральне живлення та загальну життєздатність рослин. Найвищі результати досягаються завдяки інтегрованому підходу, що передбачає поєднання біологічних методів з агротехнічними заходами, використанням стійких сортів і оптимізацією умов вирощування. Водночас біологічні засоби характеризуються нижчою швидкістю дії порівняно з хімічними препаратами та потребують профілактичного застосування, що зумовлює необхідність адаптації технологій вирощування до цих особливостей.

Подальший розвиток біологічного захисту огірків потребує створення нових високоефективних штамів антагоністів, розроблення локально адаптованих препаратів, поєднання біологічних методів з генетичними підходами та впровадження сучасних біотехнологічних рішень. Успішне застосування біологічних засобів захисту забезпечує отримання екологічно чистої продукції з високими споживчими якість, збереження економічної ефективності виробництва та відповідність сучасним вимогам сталого розвитку аграрного сектору. Біологічні методи захисту огірків у закритому ґрунті є перспективною альтернативою хімічним засобам, сприяють ефективному контролю фітопатогенів за дотримання водночас принципів екологічної безпеки та сталого виробництва.

Список використаної літератури

- Пелих В.Ю., Поспелова Г.Д., Нечипоренко Н.І., Коваленко Н.П. Біопрепарати в технологіях захисту огірка від кореневих гнилей у закритому ґрунті. *Грааль науки*. 2023. № 25. С. 155–159. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.17.03.2023>.
- Чайка Т.О. Мікориза – ефективні біотехнології в рослинництві. *Проблеми та досягнення сучасної біотехнології* : V Міжнародна науково-практична конференція, 28 березня 2025 р. Харків : НФаУ, 2025. С. 395–396.
- Abdelfatah A., Mazrou Y.S.A., Arafa R.A., Makhoulouf A.H., El-Nagar A. Control of cucumber downy mildew disease under greenhouse conditions using biocide and organic compounds via induction of the antioxidant defense machinery. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. P. 11705. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81643-0>.
- Ahamed G.J., Mao Q., Yan Ya., Wu M., Wang Ya., Ren J., Guo P., Liu A., Chen S. Role of melatonin in arbuscular mycorrhizal fungi-induced resistance to *Fusarium* wilt in cucumber. *Phytopathology*. 2020. Vol. 110 (5). P. 999–1009. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-11-19-0435-R>.
- Akhter A., Hage-Ahmed K., Soja G., Steinkellner S. Potential of *Fusarium* wilt-inducing chlamydospores, in vitro behaviour in root exudates and physiology of tomato in biochar and compost amended soil. *Plant Soil*. 2016. Vol. 406. P. 425–440. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2948-4>.
- Al-Aswad R.M.A., Al-Azzawi Q.K.Z. Control of downy mildew disease on cucumber caused by the fungus *Pseudoperonospora cubensis* by using environmentally friendly materials. *Euphrates Journal of Agriculture Science*. 2021. Vol. 13. P. 98–110.
- Aljawasim B.D., Khaeim H.M., Manshood M.A. Assessment of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus* spp.) as potential biocontrol agents against damping-off disease *Rhizoctonia solani* on cucumber. *Journal of Crop Protection*. 2020. Vol. 9 (1). P. 141–147.
- Arenas O.R., Olguín J.F.L., Ramón D.J., Sangerman-Jarquín D.M.D., Lezama C.P., Morales P.S., Lara M.H. Biological control of *Fusarium oxysporum* in tomato seedling production with Mexican strains of *Trichoderma*. *IntechOpen*. 2018. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72878>.
- Asad S.A., Ali N., Hameed A., Khan S.A., Ahmad R., Bilal M., Shahzad M., Tabassum A. Biocontrol efficacy of different isolates of *Trichoderma* against soil borne pathogen *Rhizoctonia solani*. *Polish Journal of Microbiology*. 2014. Vol. 63 (1). P. 95–103. <https://doi.org/10.33073/pjm-2014-014>.
- Aseel D.G., Rashad Y.M., Hammad S. M. Arbuscular mycorrhizal fungi trigger transcriptional expression of flavonoid and chlorogenic acid biosynthetic pathways genes in tomato against tomato mosaic virus. *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. P. 9692. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46281-x>.
- Chang C.L., Fu X.P., Zhou X.G., Guo M.Y., Wu F.Z. Effects of seven different companion plants on cucumber productivity, soil chemical characteristics and *Pseudomonas* community. *Journal of Integrative Agriculture*. 2017. Vol. 16 (10). P. 2206–2214. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61698-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61698-8).
- Dobrzyński J., Jakubowska Z., Kulkova I., Kowalczyk P., Kramkowski K. Biocontrol of fungal phytopathogens by *Bacillus pumilus*. *Frontiers in Microbiology*. 2023. Vol. 14. P. 1194606. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1194606>.
- Girma A. In Vitro Biocontrol Evaluation of Some Selected *Trichoderma* Strains against the Root Pathogen *Fusarium oxysporum* of Hot Pepper (*Capsicum annum* L.) in Bure Woreda, Ethiopia. *International Journal of Microbiology*. 2022. P. 1664116. <https://doi.org/10.1155/2022/1664116>.
- Gordon T.R. *Fusarium oxysporum* and the Fusarium wilt syndrome. *Annual Review of Phytopathology*. 2017. Vol. 55. P. 23–39. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-08061>.
- Hafez Y.M., El-Nagar A.S., Elzaawely A.A., Kamel S., Maswada H.F. Biological control of *Podosphaera xanthii* the causal agent of squash powdery mildew disease by upregulation of defense-related enzymes. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 2018. Vol. 28. P. 57. <https://doi.org/10.1186/s41938-018-0058-8>.
- Harman G.E., Howell C.R., Viterbo A., Chet, I., Lorito M. *Trichoderma* species – opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*. 2004. Vol. 2 (1). P. 43–56. <https://doi.org/10.1038/nrmicro797>.
- Howell C.R., Stipanovic R.D., Lumsden R.D. Antibiotic production by strains of *Gliocladium virens* and its relation to the biocontrol of cotton seedling diseases. *Biocontrol Science and Technology*. 2008. Vol. 3 (4). P. 435–441. <https://doi.org/10.1080/09583159309355298>.
- Hyder M., Li Y., Raza M. F., Zhang M., Chen J., Mao J., Bukero A., Zhang L. Enhancing coccinella beetle biological pest control via a floral approach in cucumber greenhouse. *Life*. 2023. Vol. 13 (10). P. 2080. <https://doi.org/10.3390/life13102080>.

- Kimura Y., Németh M.Z., Numano K., Mitao A., Shirakawa T., Seress D., Takikawa Y., Kakutani K., Matsuda Y., Kiss L., Nonomura T. Hyperparasitic fungi against melon powdery mildew pathogens: quantitative analysis of conidia released from single colonies of *Podosphaera xanthii* parasitised by *Ampelomyces*. *Agronomy*. 2023. Vol. 13 (5). P. 1204. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051204>.
- Lebeda A., Cohen Y. Cucurbit downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis*) – Biology, ecology, epidemiology, host-pathogen interaction and control. *European Journal of Plant Pathology*. 2011. Vol. 129. P. 157–192. <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9658-1>.
- Lian H., Li R., Ma G., Zhao Z., Zhang T., Li M. The effect of *Trichoderma harzianum* agents on physiological-biochemical characteristics of cucumber and the control effect against Fusarium wilt. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. P. 17606. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44296-z>.
- McGrath M.T. Fungicide resistance in cucurbit powdery mildew: experiences and challenges. *Plant Disease*. 2001. Vol. 85 (3). P. 236–245.
- Neufeld K.N., Keinath A.P., Ojiambo P.S. A model to predict the risk of infection of cucumber by *Pseudoperonospora cubensis*. *Microbial Risk Analysis*. 2017. Vol. 6. P. 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.mran.2017.05.001>.
- Núñez-Paleniús H.G., Orosco-Alcalá B.E., Espitia-Vázquez I., Olalde-Portugal V., Hoflack-Culebro M., Ramírez-Santoyo L.F., Ruiz-Aguilar G.M.L., Cruz-Huerta N., Valiente-Banuet J.I. Biological control of downy mildew and yield enhancement of cucumber plants by *Trichoderma harzianum* and *Bacillus subtilis* (Ehrenberg) under greenhouse conditions. *Horticulturae*. 2022. Vol. 8 (12). P. 1133. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121133>.
- Osman H.E.M., Nehela Y., Elzaawely A.A., El-Morsy M.H., El-Nagar A. Two bacterial bioagents boost onion response to Stromatinia cepivora and promote growth and yield via enhancing the antioxidant Defense System and Auxin Production. *Horticulturae*. 2023. Vol. 9 (7). P. 780. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9070780>.
- Paulitz T.C., Bélanger R.R. Biological control in greenhouse systems. *Annual Review of Phytopathology*. 2001. № 39. P. 103–133. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.39.1.103>.
- Plocek G., Kunz D.R., Simpson C. Impacts of *Bacillus amyloliquefaciens* and *Trichoderma* spp. on Pac Choi (*Brassica rapa* var. chinensis) grown in different hydroponic systems. *Frontiers in Plant Science*. 2024. Vol. 15. P. 1438038. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1438038>.
- Prapagdee B., Kuekulvong C., Mongkolsuk S. Antifungal potential of extracellular metabolites produced by *Streptomyces hygroscopicus* against phytopathogenic fungi. *International Journal of Biology Sciences*. 2008. Vol. 4 (5). P. 330–337. <https://doi.org/10.7150/ijbs.4.330>.
- Qi Q., Fan C., Wu H., Sun L., Cao C. Preparation of *Trichoderma asperellum* microcapsules and biocontrol of cucumber powdery mildew. *Microbiology Spectrum*. 2023. Vol. 11 (3). P. e05084-22. <https://doi.org/10.1128/spectrum.05084-22>.
- Radišek S., Jakše J., Simončič A., Javornik B. Characterization of *Verticillium albo-atrum* field isolates using pathogenicity data and AFLP analysis. *Plant Disease*. 2003. Vol. 87 (6). P. 633–638.
- Riseh Saberi R., Hassanisaadi M., Vatankhah M., Soroush F., Varma R.S. Nano/microencapsulation of plant biocontrol agents by chitosan, alginate, and other important biopolymers as a novel strategy for alleviating plant biotic stresses. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022. Vol. 222 (A). P. 1589–1604. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.09.278>.
- Romero D., De Vicente A., Zeriouh H., Cazorla F.M., Fernández-Ortuño D., Torés J.A., Pérez-García A. Evaluation of biological control agents for managing cucurbit powdery mildew on greenhouse-grown melon. *Plant Pathology*. 2007. Vol. 56. P. 976–986. <https://doi.org/10.1111/J.1365-3059.2007.01684.X>.
- Rose S., Parker M., Punja Z.K. Efficacy of biological and chemical treatments for control of fusarium root and stem rot on greenhouse cucumber. *Plant Disease*. 2003. Vol. 97 (12). P. 1462–1470. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.12.1462>.
- Saad M.M., Eida A.A., Hirt H. Tailoring plant-associated microbial inoculants in agriculture: a roadmap for successful applications. *Journal of Experimental Botany*. 2020. Vol. 71 (13). P. 3878–3901. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa111>.
- Saberi-Riseh R., Moradi-Pour M., Mohammadinejad R., Thakur V.K. Biopolymers for biological control of plant pathogens: advances in microencapsulation of beneficial microorganisms. *Polymers (Basel)*. 2021. Vol. 13 (12). P. 1938. <https://doi.org/10.3390/polym13121938>.
- Savory E.A., Granke L.L., Quesada-Ocampo L.M., Varbanova M., Hausbeck M.K., Day B. The cucurbit downy mildew pathogen *Pseudoperonospora cubensis*. *Molecular Plant Pathology*. 2011. Vol. 12. P. 217–226. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2010.00670.x>.

Schnelle M., Rebek E. IPM in the greenhouse series: integrated pest management in commercial greenhouses: an overview of principles and practices. 2017 [Електронний ресурс]. URL: <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/ipm-in-the-greenhouse-series-integrated-pest-management-in-commercial-greenhouses-an-overview-of-principles-and-practices.html> (дата звернення 11.06.2025).

Shishido K., Murakami H., Kanda D., Fuji S., Toda T., Furuya H. Effect of soil inoculum density and temperature on the incidence of cucumber black root rot. *Plant Disease*. 2016. Vol. 100. P. 125–130.

Shoukry M.R., Gazar A., EL-Sheshtawi M. Ability of some antagonistic fungi for controlling cucumber downy mildew disease caused by *Pseudoperonospora cubensis*. *Journal of Plant Protection and Pathology*. 2021. Vol. 12. P. 67–69.

Sun Z., Yu S., Hu Y., Wen Y. Biological control of the cucumber downy mildew pathogen *pseudoperonospora cubensis*. *Horticulturae*. 2022. Vol. 8 (5). P. 410. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050410>.

Thomas A., Carbone I., Cohen Y., Ojiambo P.S. Occurrence and distribution of mating types of *Pseudoperonospora cubensis* in the United States. *Phytopathology*. 2017. Vol. 107. P. 313–321.

Zerillo M.M., Adhikari B.N., Hamilton J.P., Buell C.R., Lévesque C.A., Tisserat N. Carbohydrate-active enzymes in *Pythium* and their role in plant cell wall and storage polysaccharide degradation. *PLoS One*. 2013. Vol. 8 (9). P. e72572. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072572>.

Zhang D., Meng K.X., Hao Y.H., Fan H.Y., Cui N., Wang S.S., Song T.F. Comparative proteomic analysis of cucumber roots infected by *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cucumerium* Owen. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 2016. Vol. 96. P. 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2016.09.002>.

Zhao H., Zhou T., Xie J., Cheng J., Chen T., Jiang D., Fu Y. Mycoparasitism illuminated by genome and transcriptome sequencing of *Coniothyrium minitans*, an important biocontrol fungus of the plant pathogen *Sclerotinia sclerotiorum*. *Microbial Genomics*. 2020. Vol. 6 (3). P. e000345. <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000345>.

References

Pelykh, V., Pospelova, H., Nechyporenko, N., & Kovalenko N. (2023). Biopreparaty v tekhnolohiiakh zakhystu ohrirka vid korenyvykh hnylei u zakrytomu grunti [Biological preparations in cucumber root rot control technologies in protected cultivation]. *Hraal nauky [Grail of Science]*, 25, 155–159. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.17.03.2023> [in Ukrainian].

Chaika, T.O. (2025). Mikoryza – efektyvni biotekhnolohii v roslynnytstvi [Mycorrhiza – effective biotechnologies in crop production]. *Problemyta dosiahnennia suchasnoi biotekhnolohii: VMizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia [Problems and Achievements of Modern Biotechnology: Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference]*. Kharkiv, 395–396 [in Ukrainian].

Abdelfatah, A., Mazrou, Y.S.A., Arafa, R.A., Makhlof, A.H., & El-Nagar, A. (2025). Control of cucumber downy mildew disease under greenhouse conditions using biocide and organic compounds via induction of the antioxidant defense machinery. *Scientific Reports*, 15, 11705. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81643-0> [in English].

Ahamed, G.J., Mao, Q., Yan, Ya., Wu, M., Wang, Ya., Ren, J., Guo, P., Liu, A., & Chen, S. (2020). Role of melatonin in arbuscular mycorrhizal fungi-induced resistance to *Fusarium* wilt in cucumber. *Phytopathology*, 110 (5), 999–1009. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-11-19-0435-R> [in English].

Akhter, A., Hage-Ahmed, K., Soja, G., & Steinkellner, S. (2016). Potential of *Fusarium* wilt-inducing chlamydospores, in vitro behaviour in root exudates and physiology of tomato in biochar and compost amended soil. *Plant Soil*, 406, 425–440. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2948-4> [in English].

Al-Aswad, R.M.A., & Al-Azzawi, Q.K.Z. (2021). Control of downy mildew disease on cucumber caused by the fungus *pseudoperonospora cubensis* by using environmentally friendly materials. *Euphrates Journal of Agriculture Science*, 13, 98–110 [in English].

Aljawasim, B.D., Khaeim, H.M., & Manshood, M.A. (2020). Assessment of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus* spp.) as potential biocontrol agents against damping-off disease *Rhizoctonia solani* on cucumber. *Journal of Crop Protection*, 9 (1), 141–147 [in English].

Arenas, O.R., Olguín, J.F.L., Ramón, D.J., Sangerman-Jarquín, D.M.D., Lezama, C.P., Morales, P.S., & Lara, M.H. (2018). Biological control of *Fusarium oxysporum* in tomato seedling production with Mexican strains of *Trichoderma*. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72878> [in English].

Asad, S.A., Ali, N., Hameed, A., Khan, S.A., Ahmad, R., Bilal, M., Shahzad, M., & Tabassum, A. (2014). Biocontrol efficacy of different isolates of *Trichoderma* against soil borne pathogen *Rhizoctonia solani*. *Polish Journal of Microbiology*, 63 (1), 95–103. <https://doi.org/10.33073/pjm-2014-014> [in English].

Aseel, D.G., Rashad, Y.M., & Hammad, S.M. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi trigger transcriptional expression of flavonoid and chlorogenic acid biosynthetic pathways genes in tomato against tomato mosaic virus. *Scientific Reports*, 9, 9692. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46281-x> [in English].

Chang, C.L., Fu, X.P., Zhou, X.G., Guo, M.Y., & Wu, F.Z. (2017). Effects of seven different companion plants on cucumber productivity, soil chemical characteristics and *Pseudomonas* community. *Journal of Integrative Agriculture*, 16 (10), 2206–2214. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61698-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61698-8) [in English].

Dobrzyński, J., Jakubowska, Z., Kulkova, I., Kowalczyk, P., & Kramkowski, K. (2023). Biocontrol of fungal phytopathogens by *Bacillus pumilus*. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1194606. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1194606>.

Girma, A. (2022). In Vitro Biocontrol Evaluation of Some Selected *Trichoderma* Strains against the Root Pathogen *Fusarium oxysporum* of Hot Pepper (*Capsicum annum* L.) in Bure Woreda, Ethiopia. *International Journal of Microbiology*, 1664116. <https://doi.org/10.1155/2022/1664116> [in English].

Gordon, T.R. (2017). *Fusarium oxysporum* and the Fusarium wilt syndrome. *Annual Review of Phytopathology*, 55, 23–39. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080617> [in English].

Hafez, Y.M., El-Nagar, A.S., Elzaawely, A.A., Kamel, S., & Maswada, H.F. (2018). Biological control of *Podosphaera xanthii* the causal agent of squash powdery mildew disease by upregulation of defense-related enzymes. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 28, 57. <https://doi.org/10.1186/s41938-018-0058-8> [in English].

Harman, G.E., Howell, C.R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species – opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2 (1), 43–56. <https://doi.org/10.1038/nrmicro797> [in English].

Howell, C.R., Stipanovic, R.D., & Lumsden, R.D. (2008). Antibiotic production by strains of *Gliocladium virens* and its relation to the biocontrol of cotton seedling diseases. *Biocontrol Science and Technology*, 3 (4), 435–441. <https://doi.org/10.1080/09583159309355298> [in English].

Hyder, M., Li, Y., Raza, M.F., Zhang, M., Chen, J., Mao, J., Bukero, A., & Zhang, L. (2023). Enhancing coccinella beetle biological pest control via a floral approach in cucumber greenhouse. *Life*, 13 (10), 2080. <https://doi.org/10.3390/life13102080> [in English].

Kimura, Y., Németh, M.Z., Numano, K., Mitao, A., Shirakawa, T., Seress, D., Takikawa, Y., Kakutani, K., Matsuda, Y., Kiss, L., & Nonomura, T. (2023). Hyperparasitic fungi against melon powdery mildew pathogens: quantitative analysis of conidia released from single colonies of *Podosphaera xanthii* parasitised by *Ampelomyces*. *Agronomy*, 13 (5), 1204. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051204>.

Lebeda, A., & Cohen, Y. (2011). Cucurbit downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis*) – Biology, ecology, epidemiology, host-pathogen interaction and control. *European Journal of Plant Pathology*, 129, 157–192. <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9658-1> [in English].

Lian, H., Li, R., Ma, G., Zhao, Z., Zhang, T., & Li, M. (2023). The effect of *Trichoderma harzianum* agents on physiological-biochemical characteristics of cucumber and the control effect against *Fusarium* wilt. *Scientific Reports*, 13, 17606. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44296-z> [in English].

McGrath, M.T. (2001). Fungicide resistance in cucurbit powdery mildew: experiences and challenges. *Plant Disease*, 85 (3), 236–245 [in English].

Neufeld, K.N., Keinath, A.P., & Ojiambo, P.S. (2017). A model to predict the risk of infection of cucumber by *Pseudoperonospora cubensis*. *Microbial Risk Analysis*, 6, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.mran.2017.05.001> [in English].

Núñez-Palenius, H.G., Orosco-Alcalá, B.E., Espitia-Vázquez, I., Olalde-Portugal, V., Hoflack-Culebro, M., Ramírez-Santoyo, L.F., Ruiz-Aguilar, G.M.L., Cruz-Huerta, N., & Valiente-Banuet, J.I. (2022). Biological control of downy mildew and yield enhancement of cucumber plants by *Trichoderma harzianum* and *Bacillus subtilis* (Ehrenberg) under greenhouse conditions. *Horticulturae*, 8 (12), 1133. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121133> [in English].

Osman, H.E.M., Nehela, Y., Elzaawely, A.A., El-Morsy, M.H., & El-Nagar, A. (2023). Two bacterial bioagents boost onion response to *Stromatinia cepivora* and promote growth and yield via enhancing the antioxidant Defense System and Auxin Production. *Horticulturae*, 9 (7), 780. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9070780> [in English].

Paulitz, T.C., & Bélanger, R.R. (2001). Biological control in greenhouse systems. *Annual Review of Phytopathology*, 39, 103–133. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.39.1.103> [in English].

Plocek, G., Kunz, D.R., & Simpson, C. (2024). Impacts of *Bacillus amyloliquefaciens* and *Trichoderma* spp. on Pac Choi (*Brassica rapa* var. *chinensis*) grown in different hydroponic systems. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1438038. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1438038> [in English].

- Prapagdee, B., Kuekulvong, C., & Mongkolsuk, S. (2008). Antifungal potential of extracellular metabolites produced by *Streptomyces hygroscopicus* against phytopathogenic fungi. *International Journal of Biology Sciences*, 4 (5), 330–337. <https://doi.org/10.7150/ijbs.4.330> [in English].
- Qi, Q., Fan, C., Wu, H., Sun, L., & Cao, C. (2023). Preparation of *Trichoderma asperellum* microcapsules and biocontrol of cucumber powdery mildew. *Microbiology Spectrum*, 11 (3), e05084–22. <https://doi.org/10.1128/spectrum.05084-22> [in English].
- Radišek, S., Jakše, J., Simončič, A., & Javornik, B. (2003). Characterization of *Verticillium albo-atrum* field isolates using pathogenicity data and AFLP analysis. *Plant Disease*, 87 (6), 633–638 [in English].
- Riseh, S.R., Hassanisaadi, M., Vatankhah, M., Soroush, F., & Varma, R.S. (2022). Nano/microencapsulation of plant biocontrol agents by chitosan, alginate, and other important biopolymers as a novel strategy for alleviating plant biotic stresses. *International Journal of Biological Macromolecules*, 222 (A), 1589–1604. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.09.278> [in English].
- Romero, D., De Vicente, A., Zerriouh, H., Cazorla, F.M., Fernández-Ortuño, D., Torés, J.A., & Pérez-García, A. (2007). Evaluation of biological control agents for managing cucurbit powdery mildew on greenhouse-grown melon. *Plant Pathology*, 56, 976–986. <https://doi.org/10.1111/J.1365-3059.2007.01684.X> [in English].
- Rose, S., Parker, M., & Punja, Z.K. (2003). Efficacy of biological and chemical treatments for control of fusarium root and stem rot on greenhouse cucumber. *Plant Disease*, 97 (12), 1462–1470. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.12.1462> [in English].
- Saad, M.M., Eida, A.A., & Hirt, H. (2020). Tailoring plant-associated microbial inoculants in agriculture: a roadmap for successful applications. *Journal of Experimental Botany*, 71 (13), 3878–3901. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa111> [in English].
- Saberi-Riseh, R., Moradi-Pour, M., Mohammadinejad, R., & Thakur, V.K. (2021). Biopolymers for biological control of plant pathogens: advances in microencapsulation of beneficial microorganisms. *Polymers (Basel)*, 13 (12), 1938. <https://doi.org/10.3390/polym13121938> [in English].
- Savory, E.A., Granke, L.L., Quesada-Ocampo, L.M., Varbanova, M., Hausbeck, M.K., & Day, B. (2011). The cucurbit downy mildew pathogen *Pseudoperonospora cubensis*. *Molecular Plant Pathology*, 12, 217–226. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2010.00670.x> [in English].
- Schnelle, M., & Rebek, E. (2017). IPM in the greenhouse series: integrated pest management in commercial greenhouses: an overview of principles and practices. [Electronic resource] URL: <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/ipm-in-the-greenhouse-series-integrated-pest-management-in-commercial-greenhouses-an-overview-of-principles-and-practices.html> (access date 11.06.2025) [in English].
- Shishido, K., Murakami, H., Kanda, D., Fuji, S., Toda, T., & Furuya, H. (2016). Effect of soil inoculum density and temperature on the incidence of cucumber black root rot. *Plant Disease*, 100, 125–130 [in English].
- Shoukry, M.R., Gazar, A., & EL-Sheshtawi, M. (2021). Ability of some antagonistic fungi for controlling cucumber downy mildew disease caused by *Pseudoperonospora cubensis*. *Journal of Plant Protection and Pathology*, 12, 67–69 [in English].
- Sun, Z., Yu, S., Hu, Y., & Wen, Y. (2022). Biological control of the cucumber downy mildew pathogen *pseudoperonospora cubensis*. *Horticulturae*, 8 (5), 410. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050410> [in English].
- Thomas, A., Carbone, I., Cohen, Y., & Ojiambo, P.S. (2017). Occurrence and distribution of mating types of *Pseudoperonospora cubensis* in the United States. *Phytopathology*, 107, 313–321 [in English].
- Zerillo, M.M., Adhikari, B.N., Hamilton, J.P., Buell, C.R., Lévesque, C.A., & Tisserat, N. (2013). Carbohydrate-active enzymes in *Pythium* and their role in plant cell wall and storage polysaccharide degradation. *PLoS One*, 8 (9), e72572. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072572> [in English].
- Zhang, D., Meng, K.X., Hao, Y.H., Fan, H.Y., Cui, N., Wang, S.S., & Song, T.F. (2016). Comparative proteomic analysis of cucumber roots infected by *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cucumerium* Owen. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 96, 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.pmp.2016.09.002> [in English].
- Zhao, H., Zhou, T., Xie, J., Cheng, J., Chen, T., Jiang, D., & Fu, Y. (2020). Mycoparasitism illuminated by genome and transcriptome sequencing of *Coniothyrium minitans*, an important biocontrol fungus of the plant pathogen *Sclerotinia sclerotiorum*. *Microbial Genomics*, 6 (3), e000345. <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000345> [in English].

Отримано: 31.07.2025

Прийнято: 27.08.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 631.472.74: 632.937.15

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.28>

ВПЛИВ ІНОКУЛЯЦІЇ НАСІННЯ ПШЕНИЦІ АГРОНОМІЧНО КОРИСНИМИ БАКТЕРІЯМИ НА БІОМЕТРИЧНІ ТА ФІЗІОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОСЛИН

М. М. Селінний¹, Л. А. Шевченко², Г. І. Рябуха³, М. М. Пархоменко⁴

Досліджено ефективність інокуляції насіння пшениці сортів *Тобак* і *Артист* бактеріями *Bacillus* sp. 4, *Azospirillum* sp. Вивчено зміну морфометричних і фізіологічних параметрів вегетуючих рослин за різних варіантів передпосівної бактеризації. Виявлено, що обробка насінневого матеріалу селекціонованими мікроорганізмами сприяє збільшенню біометричних параметрів рослин пшениці. Установлено, що висота рослин збільшувалась на 13% за комплексної бактеризації насіння культурами *Bacillus* sp. 4 та *Azospirillum* sp., але монокультура *Azospirillum* sp. забезпечувала прискорення росту рослин сорту *Артист* на 7,5%, що дещо перевищує значення даного показника у варіанті з поєднаним застосуванням бактерій. Методом спектрофотометрії визначено вміст фотосинтезуючих пігментів у листках рослин пшениці. За отриманими результатами, більше накопичення пігментів фотосинтезу спостерігалось у варіантах з передпосівною бактеризацією насіння *Bacillus* sp. 4 та *Azospirillum* sp., зокрема за їх поєднання, що забезпечує високу функціональну активність фотосинтетичного апарату рослин пшениці. Інтенсивність ростових процесів і ефективність роботи фотосинтетичного апарату визначають рівень накопичення сухої речовини рослинами. У варіантах дослідження з вищими показниками висоти рослин та вмісту фотосинтетичних пігментів очікувано встановлено й більшу масу сухих речовин. Варто зазначити, що ключову роль у впливі інтродукованих бактерій на покращення росту та розвитку рослин відіграють їх вторинні метаболіти, зокрема фітогормональної природи, що зумовлює

¹ кандидат економічних наук, доцент,
заступник директора ННІ природокористування та гуманітарних наук
(Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів)
e-mail: selm@meta.ua
ORCID: 0000-0001-5682-7099

² кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри аграрних технологій та лісового господарства
(Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів)
e-mail: shevchenkolyubov@ukr.net
ORCID: 0000-0002-2637-1999

³ кандидат економічних наук
(BETA Technological Centre, Universitat de Vic-Universitat Central de Catalunya (UVic-UCC), Vic, Spain)
e-mail: g.gyabukha@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2146-7489

⁴ завідувач навчально-наукової лабораторії екологічно-сталого природокористування
(Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів)
e-mail: miroslav.parkhomenko@gmail.com
ORCID: 0000-0001-8804-0813

необхідність проведення подальших лабораторних досліджень з якісного та кількісного вивчення біологічно активних речовин селекціонованих нами бактерій. Отримані результати свідчать про доцільність та важливість передпосівної інокуляції насіння пшениці агрономічно корисними мікроорганізмами, що позитивно впливає на ростові процеси рослин протягом усього вегетаційного періоду та підвищення продуктивності рослин у підсумку.

Ключові слова: пшениця м'яка (*Triticum aestivum* L.), передпосівна інокуляція, *Bacillus* sp., *Azospirillum* sp., хлорофіл, продуктивність.

INFLUENCE OF INOCULATION OF WHEAT SEEDS WITH AGRONOMICALLY VALUABLE BACTERIA ON BIOMETRIC AND PHYSIOLOGICAL INDICATORS OF PLANTS

M. M. Selyunny, L. A. Shevchenko, G. I. Ryabukha, M. M. Parkhomenko

The effectiveness of inoculation of wheat seeds of Tobak variety and Artist by bacteria, *Bacillus* sp. 4, *Azospirillum* sp. The change in the morphometric and physiological parameters of vegetative plants in different variants of presowing bacterization has been studied. It has been found that the boiling of seed material with selected microorganisms helps to increase the biometric parameters of wheat plants. It was found that the height of plants increased by 13% with the complex bacterization of seeds of *Bacillus* sp. 4 and *Azospirillum* sp., But the monoculture of *Azospirillum* sp. Provided the growth of plants of the variety of artistic by 7,5%, which is slightly higher than the value of this indicator in the variant with the combined use of bacteria. The method of spectrophotometry determines the content of photosynthetic pigments in the leaves of wheat plants. According to the results, more accumulation of photosynthesis pigments was observed in variants with presowing bacterization of *Bacillus* sp. 4 and *Azospirillum* sp. In particular, for their combination, which provides high functional activity of the photosynthetic apparatus of wheat plants. The intensity of growth processes and the efficiency of the photosynthetic apparatus determine the level of accumulation of dry matter by plants. In the variants of the experiment with higher plants height and the content of photosynthetic pigments, a large mass of solids is expected. It should be noted that their secondary metabolites, in particular phytohormone nature, play a key role in the influence of introduced bacteria on improving plant growth and development, which requires further laboratory tests for qualitative and quantitative study of biologically active substances by us. The results indicate the expediency and importance of presowing inoculation of wheat seeds with agronomically beneficial microorganisms, which has a positive effect on plant growth throughout the growing season and increased plant productivity as a result.

Key words: soft wheat (*Triticum aestivum* L.), presowing inoculation, *Bacillus* sp., *Azospirillum* sp., Chlorophyll, performance.

Вступ

Значення пшениці як основної продовольчої зернової культури у світі є незмінним. Технологія вирощування сортів *Triticum aestivum* L. удосконалюється також застосуванням мікробних препаратів. Дія даної групи препаратів активно досліджується, а також продовжуються пошуки ще більш ефективних мікроорганізмів, які б сприяли зростанню врожайності зерна у визначених ґрунтово-кліматичних умовах і окремих сортів чи гібридів.

Необхідність збільшення показників урожайності зернових культур насамперед зумовлена необхідністю досягнення продовольчої безпеки в Україні й у всьому світі з урахуванням постійного зростання чисельності населення на нашій планеті. Збільшення врожайності зерна на оброблюваних площах – це єдиний вихід з даної

ситуації, адже ступінь розораності земель нашої країни занадто великий, що унеможливає збільшення збору врожаю сільськогосподарської продукції завдяки екстенсивному землеробству з розширенням посівних площ. Звісно, є інші варіанти, як-от оптимізація сівозмін, але зважаючи на ринкову економіку, більшість господарств вирощують насамперед прибуткові (висококорентабельні) культури.

Використання біопрепаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур фактично завжди зумовлює збільшення врожайності продукції (Смірнов та ін., 2002; Волкогон, 2006; Вінюков та ін., 2022; Баган і Гурба, 2025) та є екологічно безпечним для довкілля. Саме тому бактеризація насіння пшениці може бути важливим елементом технології вирощування даної культури. Завдяки покращенню фізіо-

логічного стану рослин зменшиться потреба в застосуванні синтетичних морфорегуляторів, внесенні високих доз мінеральних добрив, засобів захисту рослин тощо.

Використання біопрепаратів, розроблених на основі RGP ризобактерій, має широке впровадження в технологіях вирощування сільськогосподарських рослин, вони доводять свою ефективність вже протягом не одного десятиліття років (Airova et al., 2020).

Саме тому мета досліджень полягала у вивченні особливостей росту рослин, формування та функціонування фотосинтетичного апарату за дії бактеріальних суспензій, їхнього впливу на продуктивність культури.

Матеріал і методи

Дослідження проводились у польових умовах кафедри аграрних технологій та лісового господарства Національного університету «Чернігівська політехніка» на території НВД «Деснянка».

У досліді використовували пшеницю м'яку озиму *Triticum aestivum* L. сортів Тобак і Артїст з високим потенціалом продуктивності. Для передпосівної обробки насіння пшениці використовували суспензії бактерій *Bacillus* sp. 4, та *Azospirillum* sp., для контрольного варіанту насіння змочували водою. Бактеріальні суспензії попередньо отримані шляхом культивування на відповідних рідких поживних середовищах.

Строк сівби – перша декада жовтня, з міжряддям 15 см, норма висіву – 5 млн насінин на га, попередник – гречка. Обробіток ґрунту та система захисту посівів згідно із загальноприйнятою агротехнікою.

Розміщення варіантів досліді систематичне, із триразовою повторністю.

Схема польового досліді включала такі варіанти, як: 1) контроль – без обробки; 2) бактеризація насіння *Azospirillum* sp.; 3) бактеризація насіння *Bacillus* sp. 4; 4) бактеризація насіння *Azospirillum* sp. + *Bacillus* sp. 4. Іншим фактором досліді були різні сорти пшениці озимої – Артїст і Тобак. Площа кожної досліді ділянки становила 250 м².

Визначення площі листового апарату проводили найбільш поширеним методом висічок (Грицаєнко та ін., 2003).

Оскільки вміст хлорофілу суттєво залежить від часу доби, хмарності й опадів, відбір зразків проводили в першій половині доби. Окрім того, листки різних ярусів теж різняться за якісними характеристиками. Зокрема, для рослин пшениці, як і для більшості інших злакових, листя середнього

ярусу мають найбільше значення для процесу фотосинтезу.

Для визначення концентрації хлорофілу використовували фотометричний метод (ULAB 102 Spectrophotometer). Наважку листків масою 0,1 г поміщали у фарфорову ступку, додавали на кінчику шпателя CaCO₃ та розтирали із 2–5 мл 96%-го етанолу до гомогенного стану. Під час розтирання додавали ще 5 мл екстрагента. Отриману суспензію фільтрували в мірну колбу на 25 мл. За необхідності проводили повторну екстракцію до повного вилучення пігментів (знебарвлення рослинної тканини). Об'єм витяжки доводили до мітки. Фотометричні виміри проводили на спектрофотометрі «ULAB 102». Контрольний розчин – 96%-й етанол, кювети завдовжки 1 см. Умови проведення аналізу – кімнатна температура та розсіяне світло, адже прямі сонячні промені призводять до фотоокиснення молекул хлорофілу.

Визначення маси сухої речовини надземної частини рослин і кореневої системи проводили ваговим методом. Відібрані зразки рослин попередньо висушували до постійної маси за кімнатної температури.

Статистичну обробку даних проводили за допомогою Microsoft Excel.

Результати та їх обговорення

Бактерії роду *Bacillus* і *Azospirillum* є потенційними агентами біопрепаратів в агропромисловому виробництві (Hett et al., 2023; Gaspareso et al., 2023; Ibarra-Villarreal et al., 2023). На їхній основі розроблена низка мікробних препаратів, що успішно впроваджені в технологіях вирощування різних груп сільськогосподарських рослин. Ефективність їхньої дії зумовлена синтезом фітогормональних сполук, які мають вплив на регуляцію ростових процесів рослин та інші процеси життєдіяльності. Доведена ефективна робота агрономічно корисних мікроорганізмів у боротьбі з фітопатогенними бактеріями та грибами. Менш поширеним, але не менш важливим є прояв захисних властивостей ризосферних мікроорганізмів завдяки синтезу сидерофорів та інших вторинних метаболітів.

У низці наукових публікацій висвітлені результати досліді впливу агрономічно цінних мікроорганізмів на фізіологічний стан рослин, зокрема й на фотосинтетичний апарат (Шейко, 2023; Каленська і Гордіна, 2023). Так, А.М Гончар і М.В. Патики досліділи позитивну дію штамів *B. subtilis* на фотохімічну активність проростків пшениці. Рослини, оброблені суспензіями бактерій,

більш ефективно використовували поглинуте світло (Гончар і Патица, 2022). Одним із можливих механізмів дії може бути вплив цитокінінів на процеси хлоропластогенезу.

Інтегральним процесом, який підсумовує всі фізіолого-біохімічні зміни в організмі, є процес росту. Кількісні показники росту дозволяють визначити рівень забезпеченості рослин поживними речовинами й ефективність дії біологічно активних речовин. Нами встановлено, що передпосівна обробка насіння суспензіями бактерій мала позитивний вплив на показник росту рослин, але простежується відмінність між сортами пшениці (табл. 1). Так, сорт Артїст є більш чутливим до дії *Azospirillum* sp., а сорт Тобак – до бактеризації насіння бактеріями *Bacillus* sp. 4 та сумісного застосування *Azospirillum* sp. + *Bacillus* sp. 4 (різниця між даними варіантами недостовірною). Загалом, приріст у довжину перевищував показники контролю (без бактеризації) на 3,4–7,5% у варіантах із сортом Артїст, на 9,4–14,4% із сортом Тобак.

Ріст рослин – це процес, що супроводжується активним поділом клітин у зоні інтеркалярної меристеми та їх подальшим ростом шляхом розтягнення. Як і будь-які інші процеси, ріст є гормон-залежним, зокрема, на поділ клітин впливають ауксини та цитокініни. Отже, суттєве збільшення висоти рослин пшениці в дослідних варіантах із застосуванням суспензій мікроорганізмів може свідчити про їхню здатність синтезувати фітогормональні сполуки й опосередковано впливати на покращення живлення рослин (рис. 1), але ця гіпотеза потребує подальшого підтвердження.

Одним із важливих показників продукційного процесу також є площа листової

поверхні. Результати досліджень впливу інокуляції на фотосинтетичну діяльність пшениці озимої наведені в таблиці 1. Обидва досліджувані сорти сформували до періоду фази цвітіння найбільшу листову поверхню у варіантах з комбінованою інокуляцією насіння *Azospirillum* sp. та *Bacillus* sp. 4. У сортів Артїст і Тобак площа листків у зазначених варіантах становила 52,18 та 59,98 тис. м²/га відповідно. Також простежувалось активне наростання площі листового апарату у варіантах з бактеризацією насіння монокультурами бактерій. Сорт Тобак досить чутливий до бактеризації культурою *Azospirillum* sp., приріст площі листової поверхні становив 34% до контролю, менший приріст мали рослини сорту Артїст – 12,7% у варіанті з інокуляцією *Bacillus* sp. 4 щодо контролю.

Отже, передпосівна інокуляція насіння пшениці культурами *Azospirillum* sp. та *Bacillus* sp. 4 також сприяла збільшенню листової поверхні пшениці різних сортів.

Хлорофіл як важливий компонент фотосинтетичного апарату рослин активно досліджується щодо визначення ефективності дії того чи іншого чинника на рослини. Передусім вміст хлорофілу в рослинах зумовлений генетичною природою культури, етапом її розвитку, також він залежить від екзогенних чинників – внесення добрив, застосування регуляторів росту рослин тощо. Нестача хлорофілу, як головного фотокатализатора, обмежує ефективність фотосинтезу.

Вміст фотосинтетичних пігментів у листках пшениці озимої у фазі цвітіння в різних варіантах дослідження суттєво різнився. Він залежав від сорту та варіанту інокуляції. Найвищий вміст суми хлорофілів (*a* + *b*)

Таблиця 1

Біометричні показники рослин пшениці (фаза цвітіння)

Варіант досліджу	Висота рослин, см	Площа листків, тис. м ² /га
<i>Сорт Артїст</i>		
Контроль (без бактеризації)	82,2 ± 1,1	42,12 ± 0,41
Бактеризація насіння <i>Azospirillum</i> sp.	88,4 ± 1,2	44,76 ± 0,36
Бактеризація насіння <i>Bacillus</i> sp. 4	85,5 ± 1,0	47,47 ± 0,40
Бактеризація насіння <i>Azospirillum</i> sp. + <i>Bacillus</i> sp. 4	85,4 ± 0,3	52,18 ± 0,51
<i>Сорт Тобак</i>		
Контроль (без бактеризації)	80,6 ± 1,4	37,28 ± 0,36
Бактеризація насіння <i>Azospirillum</i> sp.	88,2 ± 0,8	50,06 ± 0,47
Бактеризація насіння <i>Bacillus</i> sp. 4	92,2 ± 1,1	44,92 ± 0,39
Бактеризація насіння <i>Azospirillum</i> sp. + <i>Bacillus</i> sp. 4	91,1 ± 1,2	59,98 ± 0,27

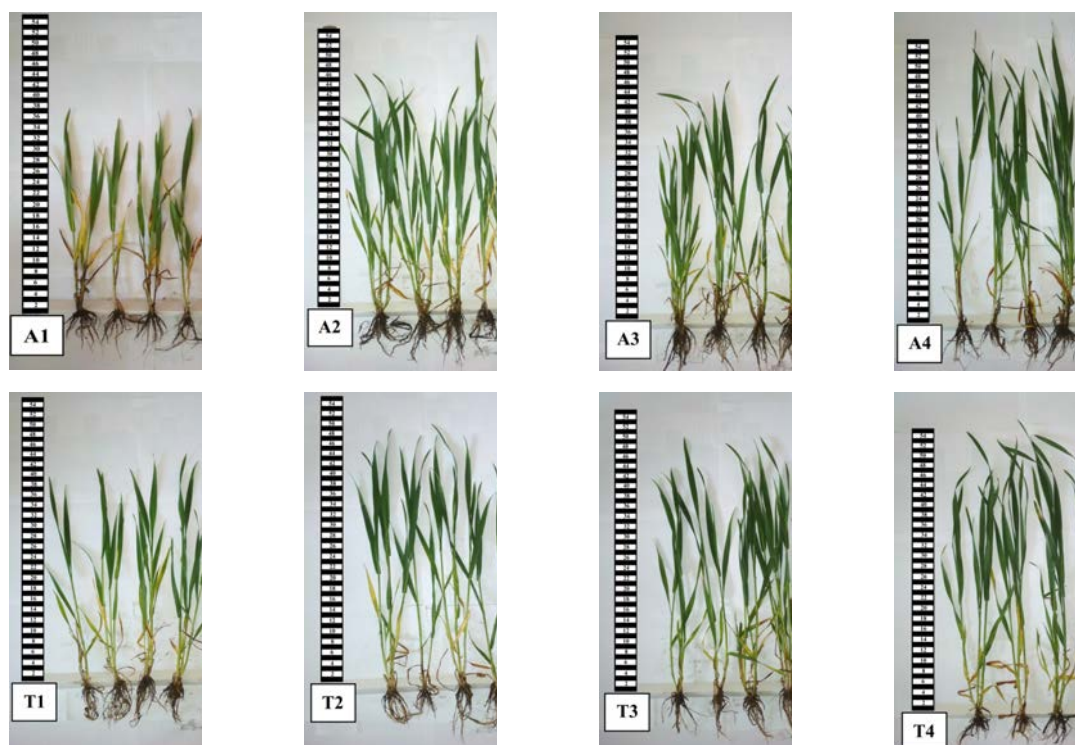


Рис. 1. Вплив *Azospirillum* sp. та *Bacillus* sp. 4 на ріст і розвиток рослин пшениці озимої: А – сорт Артіст, Т – сорт Тобак, 1 – контроль без бактеризації, 2 – бактеризація насіння *Azospirillum* sp., 3 – бактеризація насіння *Bacillus* sp. 4, 4 – бактеризація насіння *Azospirillum* sp. + *Bacillus* sp. 4

зафіксовано у варіанті з бактеризацією насіння пшениці сорту Тобак культурами *Azospirillum* sp. та *Bacillus* sp. 4 – 7,74 мг/г сухої маси. Поєднане застосування культури різних ізолятів бактерій також сприяло суттєвому збільшенню фотосинтетичних пігментів на дослідних ділянках із пшеницею сорту Артіст, приріст щодо контролю становив 39%. Бактеризація насіння зазначено сорту сприяла збільшенню вмісту в листках хлорофілу *a* від 3,23 мг/г сухої маси (у контролі) до 3,91 мг/г сухої маси у варіанті з обробкою *Azospirillum* sp. Вищим щодо контролю вміст хлорофілу *a* був у варіанті з передпосівною обробкою насіння культурою *Bacillus* sp. 4 в досліді із сортом пшениці Тобак, приріст становив 2,58 мг/г сухої маси.

Зростання вмісту фотосинтетичних пігментів у зеленій масі рослин пшениці за дії мікробних препаратів можна пояснити покращенням умов мінерального живлення, адже бактерії роду *Azospirillum* є активними асоціативними азотфіксаторами, а *Bacillus* – фосфатмобілізаторами, та збільшенням пулу біологічно активних речовин, що може позитивно впливати на біосинтез молекул пігментів.

У низці наукових робіт висвітлено кореляційний зв'язок між вмістом фотосинтезуючих пігментів у рослинах пшениці й урожайністю (Рожков, 2014; Короткова та ін., 2022). Встановлено, що маса сухої речовини збільшувалась по варіантах і залежно від сорту, також відмічено зміну розподілу сухої речовини між надземною частиною та кореневою системою. Більші значення зафіксовані в досліді із сортом Тобак, зокрема, у варіанті з бактеризацією насіння *Azospirillum* sp. + *Bacillus* sp. 4 маса кореневої системи становила 24,30 г та 26,22 г надземної частини. Водночас статистично значущо зростав даний показник і за комбінованого застосування культур мікроорганізмів у посівах із сортом Артіст, становив 24,30 г (листо-стеблова маса) та 23,39 г (коренева система), що перевищувало контрольні показники на 32 та 77% відповідно (табл. 3).

Стимулювання ростових процесів рослин може бути пов'язане, як ми вже зазначали, зі здатністю бактерій продукувати фізіологічно активні речовини, серед яких важливе місце належить фітогормональним сполукам. Для підтвердження даного при-

Таблиця 2

Вміст хлорофілу, мг/г, фаза цвітіння

Варіант досліджу	Вміст хлорофілів, мг/г сухої маси		
	хлорофіл а	хлорофіл b	хлорофіл а + b
<i>Сорт Арміст</i>			
Контроль (без бактеризації)	3,23 ± 0,11	1,42 ± 0,21	4,65 ± 0,32
Бактеризація насіння <i>Azospirillum</i> sp.	3,91 ± 0,22	1,44 ± 0,16	5,35 ± 0,38
Бактеризація насіння <i>Bacillus</i> sp. 4	3,88 ± 0,18	1,77 ± 0,20	5,65 ± 0,38
Бактеризація насіння <i>Azospirillum</i> sp. + <i>Bacillus</i> sp. 4	4,92 ± 0,11	1,58 ± 0,11	6,50 ± 0,20
<i>Сорт Тобак</i>			
Контроль (без бактеризації)	3,60 ± 0,14	1,56 ± 0,06	5,16 ± 0,20
Бактеризація насіння <i>Azospirillum</i> sp.	3,84 ± 0,22	1,47 ± 0,12	5,31 ± 0,34
Бактеризація насіння <i>Bacillus</i> sp. 4	4,55 ± 0,10	2,34 ± 0,14	6,89 ± 0,24
Бактеризація насіння <i>Azospirillum</i> sp. + <i>Bacillus</i> sp. 4	5,54 ± 0,13	2,20 ± 0,09	7,74 ± 0,22

Таблиця 3

Маса сухої речовини рослин пшениці, фаза цвітіння

Варіант досліджу	Повітряно-суха маса, г	
	листо-стеблова маса	коренева система
<i>Сорт Арміст</i>		
Контроль (без бактеризації)	18,35 ± 1,14	13,16 ± 0,56
Бактеризація насіння <i>Azospirillum</i> sp.	23,45 ± 0,96	23,25 ± 0,39
Бактеризація насіння <i>Bacillus</i> sp. 4	24,22 ± 0,90	20,53 ± 1,23
Бактеризація насіння <i>Azospirillum</i> sp. + <i>Bacillus</i> sp. 4	24,30 ± 1,00	23,39 ± 0,61
<i>Сорт Тобак</i>		
Контроль (без бактеризації)	19,03 ± 1,10	12,81 ± 0,70
Бактеризація насіння <i>Azospirillum</i> sp.	22,58 ± 1,00	18,08 ± 0,93
Бактеризація насіння <i>Bacillus</i> sp. 4	22,17 ± 0,94	15,69 ± 0,64
Бактеризація насіння <i>Azospirillum</i> sp. + <i>Bacillus</i> sp. 4	26,22 ± 1,00	24,30 ± 1,17

пущення необхідно провести лабораторні дослідження з виявлення фітогормональної активності інокулянтів. Адже за літературними джерелами відомо, що саме фітогормональні сполуки (ауксини, цитокініни, гібереліни тощо) є важливими координаторами фізіологічних процесів рослин – проростання, коренеутворення, цвітіння, утворення плодів тощо (Asghar et al., 2023).

Висновки

На основі отриманих результатів можемо зазначити, що чутливість до інокуляції була в усіх сортів, особливо за одночасної обробки культурами *Azospirillum* sp. і *Bacillus* sp. 4.

Обробка насіння мікробними препаратами в чистому вигляді та за їх комбінування значно підвищувала показники висоти рослин, вмісту фотосинтетичних пігментів і маси сухої речовини порівняно з необробленими варіантами.

Отже, інокуляція насіння пшениці озимої біопрепаратами як окремого, так і комплексного застосування сприяє більш повному розвитку фотосинтетичної поверхні рослин та продукційного процесу, залишається водночас екологічно безпечним і економічно вигідним елементом технології вирощування пшениці.

Список використаної літератури

Баган А.В., Гурба В.С. Вплив біопрепаратів на врожайність сортів пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.). *Аграрні інновації*. 2025. № 29. С. 7–11. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.29.1>.

Вінюков О.О., Чугрій Г.А., Поплевко В.І., Шульц П., Скнипа Н.А. Вплив мікробіологічних препаратів на фізіологічні процеси формування зернової продуктивності озимої пшениці. *Вісник*

Полтавської державної аграрної академії. 2022. № 2 (2). С. 11–20. <https://doi.org/10.31210/visnyk2022.02.01>.

Гончар А.М., Пати́ка М.В. Вплив бактерій *Bacillus subtilis* на стан і активність фотосинтетичного апарату рослин пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.). *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2022. Вип. 36. С. 28–35. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.36.28-35>.

Грицаєнко З.М., Грицаєнко А.О., Карпенко В.П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів / за ред. З.М. Грицаєнко. Київ : ЗАТ «НІЧЛАВА», 2003. 320 с.

Каленська С.М., Гордина О.Ю. Асиміляційна поверхня пшениці озимої залежно від передпосівної обробки насіння біологічними препаратами. *Новітні агротехнології*. 2023. Т. 11. № 2. С. 1–12 <https://doi.org/10.47414/na.11.2.2023.285330>.

Короткова І.В., Чайка Т.О., Ромашко Т.П., Рибальченко А.М. Вміст фотосинтетичних пігментів у рослинах пшениці полби як критерій продуктивності за традиційної та органічної технології вирощування. *Innov Biosyst Bioeng*. 2022. Vol. 6 (1). С. 31–39.

Мікробні препарати в землеробстві. Теорія і практика : монографія / В.В. Волкогон та ін. Київ : Аграрна наука. 2006. 312 с.

Рожков А.О. Вміст пігментів фотосинтезу в листках рослин пшениці твердої ярої за дії підживлень посівів сечовиною та мікродобривами. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2014. Вип. 195 (1). С. 101–107.

Смірнов В.В., Підгорський В.С., Іутинська Г.О., Антипчук А.Ф., Пати́ка В.П. Мікробні біотехнології в сільському господарстві. *Вісник аграрної науки*. 2002. № 4. С. 5–10.

Шейко Д.В. Фотосинтетичний потенціал сортів пшениці озимої залежно від способів застосування біологічно активних препаратів в умовах Західного Лісостепу. *Аграрні інновації*. 2023. № 19. С. 115–119. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.1.18>.

Aipova R., Abdykadyrova A., Silayev D., Tazabekova E., Oshergina A., Kurmanbayev A. The fabrication of the complex bio-fertilizer for wheat cultivation based on collection bacteria of the PGPR group. *Biodiversitas*. 2020. Vol. 21. № 11. P. 5032–5039. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d211107>.

Asghar I., Ahmed M., Farooq M.A., Ishtiaq M., Arshad M., Akram M., Umair A., Alrefaei A.F., Jat Baloch M.Y., Naeem A. Characterizing indigenous plant growth promoting bacteria and their synergistic effects with organic and chemical fertilizers on wheat (*Triticum aestivum*). *Front. Plant Sci*. 2023. № 14. P. 1232271. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1232271>.

Gaspareto R.N., Jalal A., Ito W.C.N., Oliveira C.E.d.S., Garcia C.M.d.P., Boleta E.H.M., Rosa P.A.L., Galindo F.S., Buzetti S., Ghaley B.B. Inoculation with Plant Growth-Promoting Bacteria and Nitrogen Doses Improves Wheat Productivity and Nitrogen Use Efficiency. *Microorganisms*. 2023. Vol. 11. P. 1046. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11041046>.

Hett J., Neuhoff D., Döring T.F., Masoero G., Ercole E., Bevivino A. Effects of Multi-Species Microbial Inoculants on Early Wheat Growth and Litterbag Microbial Activity. *Agronomy*. 2022. Vol. 12. № 899. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040899>.

Ibarra-Villarreal A.L., Villarreal-Delgado M.F., Parra-Cota F.I., Yepez E.A., Guzmán C., Gutierrez-Coronado M.A., Santos-Villalobos S. de L. Effect of a native bacterial consortium on growth, yield, and grain quality of durum wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum*) under different nitrogen rates in the Yaqui Valley, Mexico. *Plant Signaling & Behavior*. 2023. Vol. 18 (1). <https://doi.org/10.1080/15592324.2023.2219837>.

References

Baghan, A.V., & Ghurba, V.S. (2025). Vplyv biopreparativ na urozhajnistj sortiv pshenyци m'jakoji ozymoї (*Triticum aestivum* L.) [Impact of biological products on the yield of soft winter wheat varieties]. *Aghrarni innovaciji [Agrarian innovations]*, 29, 7–11. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.29.1> [in Ukrainian].

Viniukov, O., Chuhrii, H., Poplevko, V., Shults, P., & Sknyra, N. (2022). Vplyv mikrobiolohichnykh preparativ na fiziolohichni protsesy formuvannia zernovoi produktyvnosti ozymoї pshenyци [Influence of microbiological preparations on the physiological processes of formation of grain productivity of winter wheat]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi aharnoi akademii [Bulletin of the Poltava State Agrar Academy]*, 2 (2), 11–20. <https://doi.org/10.31210/visnyk2022.02.01> [in Ukrainian].

Volkoghon, V.V. (2006). Mikrobni preparaty u zemlerobstvi. Teorija i praktyka: [monoghrafija] / V.V. Volkoghon, O.V. Nadkernychna, T.M. Kovalevsjka ta in. Kyiv: Aghrarna nauka. 312 [in Ukrainian].

Ghonchar, A.M., & Patyka, M.V. (2022). Vplyv bakterij *Bacillus subtilis* na stan i aktyvnistj fotosyntetychnogho aparatu roslyn pshenyци ozymoї (*Triticum aestivum* L.) [The effect of *Bacillus*

subtilis bacteria on the state and activity of the photosynthetic apparatus of winter wheat plants (*Triticum aestivum* L.]). *Sil's'koghospodars'ka mikrobiologhija [Agricultural microbiology]*, 36, 28–35. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.36.28-35> [in Ukrainian].

Ghrycajenko, Z.M., Ghrycajenko, A.O., & Karpenko, V.P. (2003). *Metody biologichnykh ta aghrokhimichnykh doslidzhenj roslyn i gruntiv [Methods of biological and agrochemical studies of plants and soil] / za red. Z. M. Ghrycajenko. Kyiv: ZAT "NICH LAVA", 320 [in Ukrainian].*

Kalensjka, S.M., & Ghordyna, O.Ju. (2023). Asymilacijna poverkhnja pshenyци ozymoжи zalezho vid peredposivnoжи obrobky nasinnja biologichnymy preparatamy [The assimilation surface of winter wheat depending on the pre-sowing treatment of seeds with biological preparations. The latest agrotechnology.]. *Novitni aghrotekhnologhiji [The latest agrotechnology.]*, 11, 1–12. <https://doi.org/10.47414/na.11.2.2023.285330> [in Ukrainian].

Korotkova, I.V., Chajka, T.O., Romashko, T.P., & Rybaljchenko, A.M. (2022). Vmist fotosyntetychnykh pighmentiv u roslynakh pshenyци polby yak kryterij produktyvnosti za tradycijnoжи ta orghanichnoжи tekhnologhij vyroshhuvannja [The content of photosynthetic pigments in wheat plants as a product of productivity by traditional and organic cultivation technologies.]. *Innov Biosyst Bioen.*, 6 (1), 31–39 [in Ukrainian].

Rozhkov, A.O. (2014). Vmist pighmentiv fotosyntezy v lystkakh roslyn pshenyци tvrdoжи jaroжи za diji pidzhyvlenj posiviv sechovynoжи ta mikrodobryvamy [The content of photosynthesis pigments in the leaves of plant wheat of solid spring for the effects of feeding of urea crops and microfertilizers.]. *Naukovyj visnyk Nacional'nogho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannja Ukrajinu [Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Environmental Management of Ukraine]*, 195 (1), 101–107 [in Ukrainian].

Smirnov, V.V., Pidghors'kyj, V.S., Iutynsjka, Gh.O., Antypchuk, A.F., & Patyka, V.P. (2002). Mikrobni biotekhnologhiji u sil's'komu ghospodarstvi [Microbial biotechnologies in agriculture]. *Visnyk aghrarnoji nauky [Bulletin of agrarian science]*, 4, 5–10 [in Ukrainian].

Shejko, D.V. (2023). Fotosyntetychnyj potencial sortiv pshenyци ozymoжи zalezho vid sposobiv zastosuvannja biologichno aktyvnykh preparativ v umovakh Zakhidnogho Lisostepu [The photosynthetic potential of winter wheat varieties depending on the methods of use of biologically active drugs in the Western Forest – Steppe conditions. Agrarian innovations.]. *Aghrarni innovaciji [Agrarian innovations]*, 19, 115–119 <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.1.18> [in Ukrainian].

Aipova, R., Abdykadyrova, A., Silayev, D., Tazabekova, E., Oshergina, A., & Kurmanbayev, A. (2020). The fabrication of the complex bio-fertilizer for wheat cultivation based on collection bacteria of the PGPR group. *Biodiversitas*, 21, 5032–5039. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d211107> [in English].

Asghar, I., Ahmed, M., Farooq, M.A., Ishtiaq, M., Arshad, M., Akram, M., Umair, A., Alrefaei, A.F., Jat Baloch, M.Y., & Naeem, A. (2023). Characterizing indigenous plant growth promoting bacteria and their synergistic effects with organic and chemical fertilizers on wheat (*Triticum aestivum*). *Front. Plant Sci.*, 14: 1232271. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1232271> [in English].

Gaspardo, R.N., Jalal, A., Ito, W.C.N., Oliveira, C.E.d.S., Garcia, C.M.d.P., Boleta, E.H.M., Rosa, P.A.L., Galindo, F.S., Buzetti, S., & Ghaley, B.B. (2023). Inoculation with Plant Growth-Promoting Bacteria and Nitrogen Doses Improves Wheat Productivity and Nitrogen Use Efficiency. *Microorganisms*, 11, 1046. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11041046> [in English].

Hett, J., Neuhoﬀ, D., Döring, T.F., Masoero, G., Ercole, E., & Bevivino, A. (2022). Effects of Multi-Species Microbial Inoculants on Early Wheat Growth and Litterbag Microbial Activity. *Agronomy*, 12, 899. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040899> [in English].

Ibarra-Villarreal, A.L., Villarreal-Delgado, M.F., Parra-Cota, F.I., Yopez, E.A., Guzmán, C., Gutierrez-Coronado, M.A., & Santos-Villalobos, S. de L. (2023). Effect of a native bacterial consortium on growth, yield, and grain quality of durum wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. durum) under different nitrogen rates in the Yaqui Valley, Mexico. *Plant Signaling & Behavior*, 18 (1). <https://doi.org/10.1080/15592324.2023.2219837> [in English].

Отримано: 28.07.2025

Прийнято: 02.09.2025

Опубліковано: 17.10.2025



УДК 633.17:581.1:551.583 (477.83)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.29>

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПРОСА ПРУТОПОДІБНОГО В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ

А. А. Сітник¹, У. М. Карбівська²

У зв'язку з посиленням кліматичних змін, деградацією ґрунтів і необхідністю підвищення ефективності використання агроландшафтів, особливо в умовах Західного регіону України, актуальним є пошук технологічних рішень для стабілізації врожайності перспективних культур. Однією з таких культур є просо прутіподібне (*Panicum virgatum* L.) – багаторічна злакова рослина з високим потенціалом як біоенергетична та кормова культура, що характеризується стійкістю до посухи, здатністю зростати на малопродуктивних землях і ефективно реагувати на елементи агротехнології. Дослідження проводились на дослідному полігоні кафедри лісового і аграрного менеджменту Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.

Мета дослідження – оцінити вплив різних систем удобрення, зокрема внесення мінеральних добрив ($N_{30}P_{30}K_{30}$), регулятора росту Блек Джек КС та мікродобрива Інтермаг Титан, на ріст, біометричні параметри та врожайність вегетативної маси проса прутіподібного в агроекологічних умовах Івано-Франківської області протягом 2022–2024 років.

Методами досліджень були: польовий, лабораторний, статистичний і аналітично-розрахунковий.

У результаті досліджень встановлено істотний вплив погодних умов років досліджень на ріст і продуктивність культури. Найнижчу врожайність зафіксовано в контрольному варіанті:

12,2–16,8 т/га залежно від року. Внесення лише мінерального добрива підвищило врожайність до 18,7 т/га, використання лише мікродобрив – до 19,2–19,9 т/га. Максимальні показники отримано за комбінованого застосування $N_{30}P_{30}K_{30}$ із мікродобривами – 21,5–22,1 т/га, що на 31–44% вище за контроль. Найвищі результати були отримані за поєднання мінерального добрива з позакореневими препаратами. Наукова новизна роботи полягає у виявленні високої ефективності поєднання мінерального фонду з мікродобривами для підвищення біомаси проса прутіподібного в умовах регіональних кліматичних коливань. Практична значущість полягає в можливості використання результатів для розроблення адаптивних технологій вирощування енергетичних культур в умовах нестабільного зволоження та на низькопродуктивних землях.

Ключові слова: просо прутіподібне, *Panicum virgatum* L., врожайність, мінеральні добрива, регулятори росту, мікродобрива, біомаса, зміна клімату, агроекологічні умови, Західний регіон України.

PECULIARITIES OF SWITCHGRASS PRODUCTIVITY FORMATION UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS IN THE WEST REGION OF UKRAINE

A. A. Sitnyk, U. M. Karbivska

*In the context of accelerating climate change, soil degradation, and the need to improve the efficiency of agrolandscape use – particularly in the conditions of the Western region of Ukraine – the search for technological solutions to stabilize the yield of promising crops has become highly relevant. One such crop is switchgrass (*Panicum virgatum* L.), a perennial cereal plant with high potential as both a bioenergy and forage crop, characterized by drought resistance, the ability to grow on low-productivity soils, and a positive response to agro-technological inputs. The study was conducted at the experimental site of the Department of Forestry and Agrarian Management of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University.*

¹ аспірант кафедри лісового і аграрного менеджменту спеціальності

Н1 Агрономія

(Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ)

e-mail: sitnyk.19@pnu.edu.ua

ORCID: 0009-0007-5647-4239

² доктор сільськогосподарських наук, професор,

професор кафедри лісового і аграрного менеджменту

(Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ)

e-mail: uliana.karbivska@pnu.edu.ua

ORCID: 0000-0002-0540-8887

The aim of the research was to evaluate the effect of different fertilization systems, namely the application of mineral fertilizers ($N_{30}P_{30}K_{30}$), the growth regulator Black Jack KS, and the micronutrient fertilizer Intermag Titan, on the growth, biometric parameters, and green biomass yield of switchgrass under the agroecological conditions of Ivano-Frankivsk Oblast during the 2022–2024 period.

The research methods included field, laboratory, statistical, and analytical-calculation approaches.

The results of the study revealed a significant influence of weather conditions on the growth and productivity of the crop. The lowest yield was recorded in the control treatment (water only), ranging from 12,2 to 16,8 t/ha depending on the year. Application of mineral fertilizers alone increased yield to 18,7 t/ha, while the use of micronutrient fertilizers alone resulted in yields of 19,2–19,9 t/ha. The highest yields – 21,5 to 22,1 t/ha – were obtained from the combined application of $N_{30}P_{30}K_{30}$ with Black Jack KS or Intermag Titan, which exceeded the control by 31–44%. The most favorable results were achieved through the combination of mineral fertilizers with foliar treatments.

The scientific novelty of the study lies in identifying the high efficiency of combining a mineral background with micronutrient fertilizers for increasing switchgrass biomass under conditions of regional climatic variability. The practical significance of the findings is the potential application in the development of adaptive cultivation technologies for energy crops under unstable moisture conditions and on low-productivity lands.

Key words: switchgrass, *Panicum virgatum* L., yield, mineral fertilizers, growth regulators, micronutrient fertilizers, biomass, climate change, agroecological conditions, Western region of Ukraine.

Вступ

У контексті глобальних кліматичних змін спостерігається істотний вплив на природно-кліматичні умови України, що проявляється у стійкому підвищенні середньорічної температури повітря та зміні гідрологічного режиму водних ресурсів. Згідно з даними Українського гідрометеорологічного інституту, протягом останніх трьох десятиліть середньорічна температура в Україні зросла приблизно на 1°C, що співвідноситься зі змінами температурного режиму, зафіксованими на глобальному рівні протягом останнього століття (Нікітенко і Аверчев, 2020).

У сучасних умовах перевага віддається сільськогосподарським культурам, які відзначаються високим рівнем урожайності, стійкістю до посушливих умов і невибагливістю до агротехніки вирощування. Особливий інтерес становлять злакові енергетичні культури, зокрема міскантус, свічграс, сорго й інші. Вимоги до таких культур у біоенергетичному секторі передбачають насамперед низькі витрати на виробництво та здатність формувати стабільну й надійну сировинну базу (Мулярчук, 2016; Мулярчук і Кобернюк, 2017; Karbivska et al., 2023).

Для отримання твердих форм біопалива найбільш ефективними є багаторічні злакові культури, які вже широко використовуються в різних країнах світу. Серед них на особливу увагу заслуговує свічграс (просо прутіоподібне), що добре пристосовується до агрокліматичних умов України. Ця культура вирізняється високою біомасовою продуктивністю, придатністю до переробки на паливні брикети та гранули, а також нале-

жить до рослин типу C4 за фотосинтезом (Мазур та ін., 2017; Енергетичні ..., 2023).

Просо (*Panicum*) є високопродуктивною сільськогосподарською культурою з високим економічним потенціалом, належить до родини тонконогових (Poaceae). Для цієї культури характерне формування добре розвиненої мичкуватої кореневої системи, яка проникає на значну глибину. Рослини здатні переносити короточасне затоплення і водночас вирізняються високою посухостійкістю. Залежно від сорту, висота рослин може досягати 3,0 м. Стебла та листки гладенькі, листкова пластинка має довжину понад 20 см. Одна рослина може формувати до 35 продуктивних пагонів. Суцвіття представлено розлогою волоттю з колосками, розміщеними на кінцях гілочок різного порядку. Плід – дрібна однонасінна зернівка (Ушкаренко і Аверчев, 2007; Беленіхіна, 2012; Кулик та ін., 2022).

Просо вирізняється серед зернових культур високою стійкістю до посухи та здатністю протистояти несприятливим умовам довкілля. На ранніх етапах вегетації воно потребує мінімальної кількості вологи – для проростання достатньо лише приблизно 25% вологи від маси насіння, що є суттєвою перевагою в умовах глобального потепління та водного дефіциту. Окрім того, просо демонструє відносну стійкість до ураження хворобами й шкідниками, а також здатне формувати стабільно високі врожаї навіть за пізніх строків сівби (Беленіхіна, 2012; Шевченко, 2024).

Просо прутіоподібне є невибагливою до ґрунтових умов культурою, що дозволяє його вирощування на деградованих і малопроду-

дуктивних землях із перспективою їх поступового відновлення. Завдяки цьому світч-грас не вступає в конкуренцію з основними сільськогосподарськими культурами в сіво-змінах. Тривалість вирощування на одному полі може становити до 15 років, після чого поступово спостерігається природне виродження насаджень. Найвищу якість насіння зазвичай отримують на посівах другого та наступних років вегетації. Період цвітіння триває з кінця липня до кінця серпня, тоді як дозрівання насіння відбувається у вересні. Водночас у жовтні існує ризик його осипання (Кулик, 2013).

Продуктивність агрофітоценозів проса прутіноподібного залежить від низки чинників, що мають безпосередній вплив на ключові показники культури. Серед них варто виділити тривалість періоду появи сходів, рівень польової схожості насіння, морфологічні особливості рослин (зокрема, висоту, ширину, кількість стебел, пагонів і листків), щільність стояння рослин, а також урожайність зеленої та сухої біомаси (Van Beilen & Poirier, 2008; Sahoo et al., 2013; Мусіч і Присяжнюк, 2022).

Головним завданням вирощування сільськогосподарських культур є досягнення високої продуктивності, що забезпечує потреби у продовольстві та сировині для переробної промисловості. Вивчення процесів росту та розвитку проса дозволяє всебічно оцінити продуктивність як інтегральний показник ефективності використаних агротехнічних прийомів, а також визначити залежність урожайності від ґрунтово-кліматичних умов і застосованих систем удобрення для окремого сорту.

Метою проведеного дослідження було з'ясування особливостей формування біометричних характеристик і рівня врожайності проса прутіноподібного залежно від варіантів удобрення.

Матеріал і методи

У 2022–2024 рр. дослід було проведено на навчально-дослідному полігоні кафедри лісового і аграрного менеджменту Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.

У дослідженні вивчали шість варіантів удобрення проса прутіноподібного: контроль (обробка водою), $N_{30}P_{30}K_{30}$, Блек Джек КС, Інтермаг Титан, $N_{30}P_{30}K_{30}$ + Блек Джек КС, $N_{30}P_{30}K_{30}$ + Інтермаг Титан.

Площа посівної ділянки – 50 м², облікової – 30 м², повторність дослідів – триразова. У досліді вивчали вплив удобрення

на продуктивність проса прутіноподібного сорту Морозко, селекції ІБКіЦБ НААН. Ґрунт дослідного поля – дерново-підзолистий середньосуглинковий глеюватий, який характеризується такими агрохімічними показниками орного шару (0–30 см): вміст гумусу – 2,7%, рН – 4,7, лужногідролізованого азоту – 78,0 мг/кг ґрунту, рухомих форм P_2O_5 та K_2O – 43,0 і 98,0 мг/кг ґрунту відповідно.

Аналіз метеорологічних умов проводився на основі даних Івано-Франківської обласної метеостанції. У 2022 р. погодні умови відрізнялися від середньобаторічних показників: кількість опадів перевищила норму на 42,0 мм, а середня температура повітря була на 1,2°C вищою за середньобаторічну. У 2023 р. кількість опадів перевищила норму на 199,1 мм, а середньомісячна температура повітря виявилася вищою на 10,9°C порівняно з баторічним середнім значенням. Протягом вегетаційного періоду випало 636,1 мм опадів, найбільша кількість яких спостерігалася у квітні (116,9 мм), червні (187,9 мм) та липні (217,3 мм). У травні, навпаки, зафіксовано дефіцит вологи – кількість опадів була меншою за норму на 28,3 мм. Найвищі середні температури повітря спостерігалися в серпні (18,0°C) та вересні (13,1°C).

У 2024 р. ситуація змінилася: за вегетаційний період випало 235,5 мм опадів, що на 123,5 мм менше за середньобаторічну норму. Посушливі умови переважали впродовж усього вегетаційного періоду. Середня температура повітря за цей період перевищувала норму на 13,7°C, що свідчить про виражений температурний стрес для рослин.

Експериментальні дослідження проводилися відповідно до загальноприйнятих методик польового дослідів, а також із використанням спеціалізованих методичних підходів (Ермантраут та ін., 2007; Присяжнюк та ін., 2021).

Результати та їх обговорення

Важливою агротехнологічною особливістю проса прутіноподібного (*Panicum virgatum* L.) у першому році вегетації є його висока чутливість до температурного режиму та вологості ґрунту на початкових етапах росту й розвитку. Саме ці фактори визначають рівномірність і своєчасність появи сходів, що, своєю чергою, істотно впливає на ефективність подальшого механізованого догляду за посівами. Основні елементи технології вирощування суттєво

впливають на рівень урожайності, створюючи сприятливі умови для вегетації, що, своєю чергою, позитивно позначається на фізіологічному стані рослин і їхніх морфометричних показниках. Одним із важливих індикаторів реакції культури на умови вирощування є висота рослин, яка тісно корелює з рівнем мінерального живлення і свідчить про ступінь адаптивної здатності проса до впливу факторів зовнішнього середовища.

Результати спостережень за ростом і розвитком рослин проса прутоподібного засвідчили неоднакову динаміку формування рослин залежно від удобрення. У перший рік вегетації з'явилися сходи, які розвивалися повільно. Протягом вегетаційного періоду тривалістю 165 днів сформувалися рослини заввишки 30–40 см, які не становили господарської цінності для збирання. На другий рік вегетації рослини свічграсу сформували врожай, який можна використовувати як альтернативне джерело енергії.

Структура врожаю проса прутоподібного залежно від удобрення на другий рік вегетації, наведена в таблиці 1, свідчить про позитивний вплив добрив на ріст культури. У контрольному варіанті, де проводилось лише обприскування водою, рослини досягали висоти 97,3 см, мали в середньому 3,6 міжвузлів і 3,9 листка на одну рослину. Внесення мінерального добрива в дозі $N_{30}P_{30}K_{30}$ забезпечило збільшення висоти до 111,2 см, кількість міжвузлів і листків становила відповідно 3,7 і 4,0.

Застосування біостимулятора Блек Джек КС сприяло зростанню висоти до 113,5 см за незначного збільшення кількості міжвузлів (3,8) і листків (4,1). Аналогічні показники були зафіксовані після застосування препарату Інтермаг Титан, однак висота рослин у цьому варіанті була більшою – 115,6 см.

Найкращі результати отримано за комбінованого внесення добрив: варіанти з поєднанням $N_{30}P_{30}K_{30}$ із Блек Джек КС та Інтермаг Титан сприяли максималь-

ному росту рослин – 117,5 см та 100,4 см відповідно. У цих варіантах також було зафіксовано найвищі показники кількості міжвузлів (3,9) за стабільного рівня кількості листків (4,0–4,1 шт.). Отже, використання мінерального удобрення в поєднанні з мікроелементами істотно покращує морфометричні показники проса прутоподібного, зокрема висоту рослин, що може позитивно впливати на загальну біомасу та потенціал урожайності.

У дослідженнях М.В. Радченко та З.І. Глупак встановлено, що впродовж вегетаційного періоду свічграсу найбільшу кількість міжвузлів на стеблі зафіксовано у варіанті із внесенням азоту в дозі 60 кг/га д. р. – 5,3 шт., що перевищувало контроль на 1,3 шт. та показник варіанту з дозою 30 кг/га д. р. на 0,5 шт. (Радченко і Глупак, 2021).

У контрольному варіанті, де обробку проводили лише водою, показники стеблостою були найнижчими впродовж усіх років дослідження: 60 шт./пог. м у 2022 р., 138 – у 2023 р. та 207 – у 2024 р. (рис. 1).

У процесі дослідження було вивчено вплив різних варіантів мінерального та позакореневого удобрення на кількість стебел проса прутоподібного сорту Морозко. Згідно з результатами, кількість стебел значною мірою залежала від рівня агрохімічного забезпечення рослин. Внесення мінерального добрива $N_{30}P_{30}K_{30}$ позитивно вплинуло на розвиток культури – кількість стебел зросла в середньому на 10–12% порівняно з контролем.

Застосування регулятора росту Блек Джек КС і мікродобрива Інтермаг Титан дало схожі результати: у 2023 р. ці варіанти забезпечили формування 170 та 165 стебел/пог. м відповідно, що свідчить про їхню ефективну дію на стимулювання куштиння. У 2024 р. ці показники зросли до 240 і 246 стебел/пог. м, що пов'язано як із погодними умовами року, так і з накопичувальним ефектом агрохімікатів.

Таблиця 1

Структура врожаю проса прутоподібного залежно від удобрення другого року вегетації (см)

№	Варіанти дослідів	Висота рослин, см	Кількість міжвузлів, шт.	Кількість листків на рослині, шт.
1	Контроль (обробка водою)	97,3	3,6	3,9
2	$N_{30}P_{30}K_{30}$	111,2	3,7	4,0
3	Блек Джек КС	113,5	3,8	4,1
4	Інтермаг Титан	115,6	3,8	4,0
5	$N_{30}P_{30}K_{30}$ + Блек Джек КС	117,5	3,9	4,1
6	$N_{30}P_{30}K_{30}$ + Інтермаг Титан	120,4	3,9	4,0

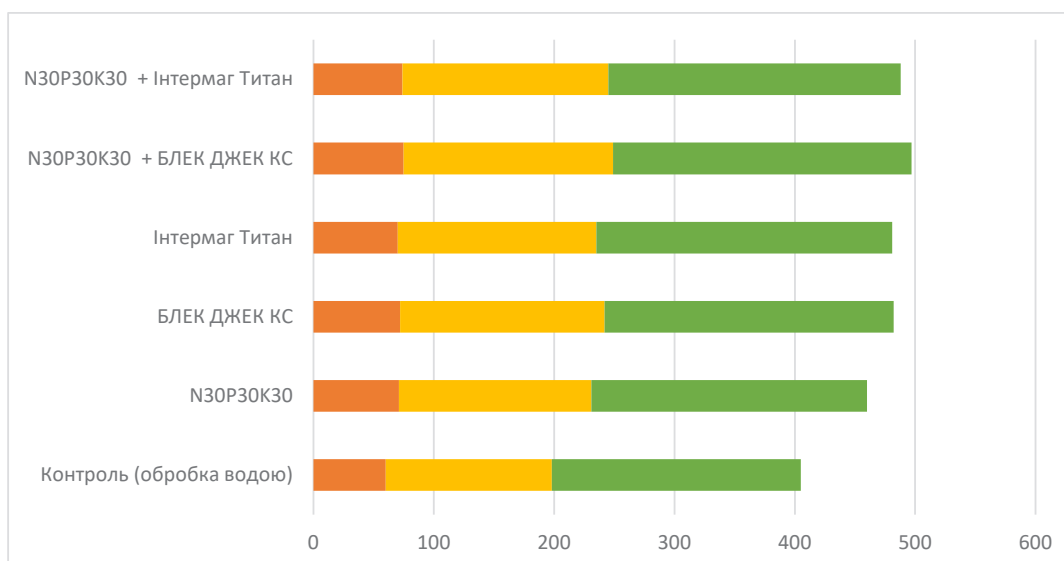


Рис. 1. Кількість стебел проса прутоподібного залежно від удобрення, шт./пог. М

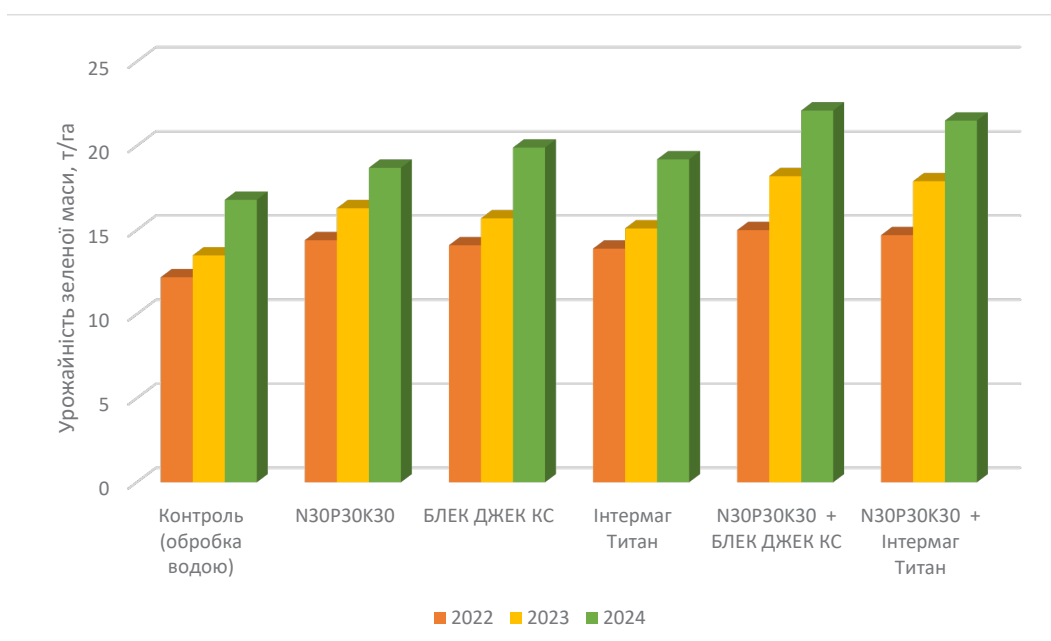


Рис. 2. Урожайність вегетативної маси проса прутоподібного залежно від удобрення, т/га

Найвищі результати були отримані за поєднання мінерального добрива з позакореновими препаратами. Зокрема, варіант із внесенням $N_{30}P_{30}K_{30}$ + Блек Джек КС у 2024 р. забезпечив формування 248 стебел/пог. м, а варіант $N_{30}P_{30}K_{30}$ + Інтермаг Титан – 243 стебел/пог. м. Це свідчить про синергетичну дію мінерального живлення та біологічно активних речовин на інтенсивність формування вегетативної маси.

Отже, застосування комплексних варіантів удобрення сприяло істотному підви-

щенню кількості стебел проса прутоподібного, що є передумовою для формування високої врожайності зеленої маси.

Встановлено, що на контролі врожайність становила від 12,2 т/га у 2022 р. до 16,8 т/га у 2024 р., що є найнижчим показником серед усіх дослідних варіантів (рис. 2). Внесення мінерального добрива в дозі $N_{30}P_{30}K_{30}$ позитивно вплинуло на приріст зеленої маси, забезпечивши зростання врожайності до 18,7 т/га у 2024 р. Застосування

лише позакореневих добрив – Блек Джек КС та Інтермаг Титан – також сприяло підвищенню врожайності, проте дещо поступалося варіанту з базовим мінеральним удобренням. Зокрема, максимальний ефект серед цих варіантів відмічено у варіанті із препаратом Блек Джек КС – 19,9 т/га у 2024 році.

Найвищу врожайність отримано за комбінованого застосування мінерального фону (N₃₀P₃₀K₃₀) з позакореневими добривами. У варіантах N₃₀P₃₀K₃₀ + Блек Джек КС і N₃₀P₃₀K₃₀ + Інтермаг Титан урожайність досягла відповідно 22,1 і 21,5 т/га у 2024 р. Це свідчить про синергетичну дію макро- та мікродобрив на формування вегетативної маси культури.

Отримані дані вказують на ефективність комплексного удобрення в технології вирощування проса прутоподібного. Застосування комбінованих варіантів сприяло збільшенню врожайності зеленої маси на

31,5–35,7% порівняно з контролем, що може бути важливим з огляду на підвищення кормової продуктивності цієї культури.

Висновки

У ґрунтово-кліматичних умовах Західного регіону України на дерново-підзолистих ґрунтах встановлено позитивний вплив внесення мінеральних добрив, гуматного регулятора росту та титановмісного мікродобрива на ріст і продуктивність проса прутоподібного сорту Морозко в усіх дослідних варіантах. Максимальна врожайність зеленої маси – 22,1 т/га – була досягнута за умов сумісного застосування N₃₀P₃₀K₃₀ та препарату Блек Джек КС.

Отже, найефективнішими системами удобрення проса прутоподібного для отримання високої врожайності зеленої маси є ті, що включають комплексне використання мінерального живлення в поєднанні з гуматними стимуляторами росту та мікроелементними препаратами на основі титану.

Список використаної літератури

- Беленіхіна А.В. Фактори підвищення врожайності проса: дослідження. *Агробізнес сьогодні*. 2012. № 6. С. 28–30.
- Енергетичні культури: сортимент, біологія, екологія, агротехнологія : колективна монографія / за ред. М.І. Кулика. Полтава : Аструя, 2023. 220 с.
- Ермантраут Е.Р., Присяжнюк О.І., Шевченко І.А. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних у пакеті Statistica 6.0. Київ : Поліграф-Консалтинг, 2007. 56 с.
- Кулик М.І. Вплив умов вирощування на врожайність фітомаси світчграсу (*Panicum virgatum* L.) другого року вегетації. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2013. № 2. С. 30–35. <https://doi.org/10.31210/visnyk2013.02.07>
- Кулик М.І., Рожко І.І., Білявська А.Г. Мінливість елементів продуктивності та врожайність насіння проса прутоподібного залежно від сорту. *Таврійський науковий вісник*. 2022. № 125. С. 63–72. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.125>.
- Мазур В.А., Браніцький Ю.Ю., Поліщук І.С. Особливості вирощування проса лозовидного в умовах Лісостепу Правобережного. *Сільське господарство та лісництво*. 2017. № 7. Т. 1. С. 19–26.
- Мулярчук О.І. Технологія вирощування сорго цукрового для виробництва біопалива. *Вісник центру наукового забезпечення АПВ Харківській області*. 2016. № 20. С. 54–60.
- Мулярчук О.І., Кобернюк О.Т. Вплив мінерального живлення на вихід біоетанолу сорго цукрового. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2017. № 26. Ч. 1. С. 94–101.
- Мусіч В.В., Присяжнюк О.І. Особливості формування продуктивності та якості біомаси проса прутоподібного на кислих ґрунтах. *Новітні агротехнології*. 2022. Т. 10. № 1. <https://doi.org/10.47414/na.10.1.2022.265661>.
- Нікітенко М.П., Аверчев С.В. Вирощування проса в умовах півдня України. *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 116. Ч. 2. С. 47–55. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.2.7>.
- Методологія і організація наукових досліджень у сільському господарстві та харчових технологіях / О.І. Присяжнюк та ін. Київ : Нілан-ЛТД, 2021. 300 с.
- Радченко М.В., Глупак З.І. Особливості вирощування світчграсу залежно від елементів технології. *East European Scientific Journal*. 2021. № 1 (65). С. 19–24.
- Ушкаренко В.О., Аверчев О.В. Просо – на півдні України. Херсон : Олді-плюс, 2007. 196 с.
- Шевченко Н.В. Сортові ресурси проса в Україні. *Аграрні інновації*. 2024. № 25. С. 102–107. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.25.15>.
- Karbiwska U.M., Hryhoriv Ya.Ya., Sitnyk A.A. Impact of fertilization on the productivity of sugar sorghum in the conditions of the Carpathian. *Topical aspects of modern scientific research : The 4th*

International scientific and practical conference, December 21–23, 2023. CPN Publishing Group, Tokyo, Japan, 2023. P. 15–19.

Sahoo S., Misra M., Mohanty A. Biocomposites from Switchgrass and Lignin Hybrid and Poly (butylene succinate) Bioplastic: Studies on Reactive Compatibilization and Performance Evaluation. *Macromolecular Materials and Engineering*. 2013. Vol. 299, Iss. 2. P. 178–189. <https://doi.org/10.1002/mame.201300038>.

Van Beilen J.B., Poirier Y. Production of renewable polymers from crop plants. *The Plant Journal*. 2008. Vol. 54. Iss. 4. P. 684–701. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03431.x>.

References

Belenikhina, A. (2012). Faktory pidvyshchennia urozhainosti prosa: doslidzhennia [Factors to increase the yield of millet: research]. *Ahrobiznes s'ohodni [Agribusiness today]*, 6, 28–30 [in Ukrainian].

Enerhetychni kultury: sortyment, biolohiia, ekolohiia, ahrotekhnolohiia: kolektyvna monohrafiia (2023). [Energy crops: assortment, biology, ecology, agrotechnology: a collective monograph] / za red. M.I. Kulyka. Poltava. 220 p. [in Ukrainian].

Ermantraut, E.R., Prysiashniuk, O.I., & Shevchenko, I.L. (2007). Statystychnyi analiz ahronomichnykh doslidnykh danykh u paketi Statistica 6.0 [Statistical analysis of agronomic study data in the Statistica 6.0 software suite]. Kyiv : Polihraf-Konsal'tynh [in Ukrainian].

Kulyk, M.I. (2013). Vplyv umov vyroshchuvannia na vrozhaunist fitomasy svitchhrasu (*Panicum virgatum* L.) druhoho roku vehetatsii [The influence of growing conditions on the yield of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) phytomass in the second year of vegetation]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii – Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy]*, 2, 30–35. <https://doi.org/10.31210/visnyk2013.02.07> [in Ukrainian].

Kulyk, M.I., Rozhko, I.I., & Biliavska, L.H. (2022). Minlyvist elementiv produktyvnosti ta vrozhaunist nasinnia prosa prutopodibnoho zalezho vid sortu [Variability of yield components and seed productivity of proso millet (*Panicum miliaceum* L.) depending on the variety]. *Tavriyskiy naukovyi visnyk [Tavriya Scientific Bulletin]*, 125, 63–72. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.125> [in Ukrainian].

Kulyk, M.I., et al. (2023). Enerhetychni kultury: sortyment, biolohiia, ekolohiia, ahrotekhnolohiia: kolektyvna monohrafiia [Energy crops: assortment, biology, ecology, agrotechnology: collective monograph]. Poltava : Astraia [in Ukrainian].

Mazur, V.A., Branitskyi, Yu.Yu., & Polishchuk, I.S. (2017). Osoblyvosti vyroshchuvannia prosa lozovydnoho v umovakh Lisostepu Pravoberezhnoho [Peculiarities of cultivation of bristly millet in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisnytstvo [Agriculture and Forestry]*, 7 (1), 19–26 [in Ukrainian].

Muliarchuk, O.I. (2016). Tekhnolohiia vyroshchuvannia sorho tsukrovoho dlia vyrobnytstva biopalyva [Technology of sweet sorghum cultivation for biofuel production]. *Visnyk tsentru naukovooho zabezpechennia APV Kharkivskoi oblasti [Bulletin of the Center for Scientific Support of the Agro-Industrial Complex of Kharkiv Region]*, 20, 54–60 [in Ukrainian].

Muliarchuk, O.I., & Koberniuk, O.T. (2017). Vplyv mineralnoho zhyvlennia na vykhid bioetanolu sorho tsukrovoho [Effect of mineral nutrition on bioethanol yield from sweet sorghum]. *Podil'skiy visnyk: sil'ske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika [Podilian Bulletin: Agriculture, Technology, Economics]*, 26 (1), 94–101 [in Ukrainian].

Musich, V.V., & Prysiashniuk, O.I. (2022). Peculiarities of the productivity formation and biomass quality of switchgrass on acid soils. *Advanced Agritechnologies*, 10 (1). <https://doi.org/10.47414/na.10.1.2022.265661> [in Ukrainian].

Nikitenko, M.P., & Averechev, S.V. (2020). Vyroshchuvannia prosa v umovakh pivdnia Ukrainy [Cultivation of millet under the conditions of Southern Ukraine]. *Tavriyskiy naukovyi visnyk [Tavriya Scientific Bulletin]*, 116 (2), 47–55. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.2.7> [in Ukrainian].

Prysiashniuk, O.I., Klymovych, N.M., Polunina, O.V., Yevchuk, Ya.V., Tretiakova, S.O., Kononenko, L.M., Voitovska, V.I., & Mykhailovyn, Yu.M. (2021). Metodolohiia ta orhanizatsiia naukovykh doslidzhen u sil'skomu hospodarstvi ta kharchovykh tekhnolohiiakh [Methodology and organization of scientific research in agriculture and food technologies]. Kyiv : Nilan-LTD [in Ukrainian].

Radchenko, M.V., & Hlupak, Z.I. (2021). Osoblyvosti vyroshchuvannia svitchhrasu zalezho vid elementiv tekhnolohii [Peculiarities of switchgrass cultivation depending on technological elements]. *East European Scientific Journal*, 1 (65), 19–24 [in Ukrainian].

Ushkarenko, V.O., & Averchev, O.V. (2007). Proso – na pivdni Ukrainy [Millet in Southern Ukraine]. Kherson : Oldi-plius [in Ukrainian].

Shevchenko, N.V. (2024). Sortovi resursy prosa v Ukraini [Varietal resources of millet in Ukraine]. *Ahrarni innovatsii [Agrarian Innovations]*, 25, 102–107. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.25.15> [in Ukrainian].

Karbivska, U.M., Hryhoriv, Ya.Ya., & Sitnyk, A.A. (2023). Impact of fertilization on the productivity of sugar sorghum in the conditions of the Carpathian [Impact of fertilization on the productivity of sugar sorghum in the conditions of the Carpathian]. The 4th International Scientific and Practical Conference “Topical Aspects of Modern Scientific Research”. December 21–23, 2023. Tokyo: CPN Publishing Group, pp. 15–19 [in English].

Sahoo, S., Misra, M., & Mohanty, A. (2013). Biocomposites from switchgrass and lignin hybrid and poly (butylene succinate) bioplastic: Studies on reactive compatibilization and performance evaluation [Biocomposites from switchgrass and lignin hybrid and poly (butylene succinate) bioplastic: Studies on reactive compatibilization and performance evaluation]. *Macromolecular Materials and Engineering*. 299 (2), 178–189. <https://doi.org/10.1002/mame.201300038> [in English].

Van Beilen, J.B., & Poirier, Y. (2008). Production of renewable polymers from crop plants [Production of renewable polymers from crop plants]. *The Plant Journal*, 54 (4), 684–701. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03431.x> [in English].

Отримано: 29.07.2025

Прийнято: 01.09.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 633.63:631.81-022.513:631.559
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.30>

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ ЗА ОПТИМІЗАЦІЇ ЇХ МІКРОЕЛЕМЕНТНОГО ЖИВЛЕННЯ

С. В. Філоненко¹, В. М. Лисак²

У статті наведені результати досліджень з вивчення впливу позакореневого внесення різних доз мікродобрива Маджестик Бор на продуктивність буряків цукрових, які проводилися впродовж 2022–2024 років на полях бурякозасіяного господарства Полтавської області.

Метою наших дослідів було вивчення впливу різних доз мікродобрива Маджестик Бор, яке вносили позакоренево, на продуктивні та якісні характеристики буряків цукрових в умовах Лівобережного Лісостепу України.

Обліки густоти рослин буряків цукрових перед збиранням урожаю показали, що якщо на контролі до збирання врожаю густота рослин зменшилася на 27,3%, то на варіантах із різними дозами Маджестик Бор цей показник виявився меншим у 1,5–2,3 рази. Проте найменше за роки досліджень знизилася густота рослин культури на ділянках варіанту, де Маджестик Бор вносили двічі дозами по 1,5 л/га, – на 12,1%.

Тут кількість рослин на 1 га на час збирання виявилася найбільшою і становила 96,8 тис./га.

Урожайність коренеплодів за роки досліджень виявилася максимальною і доказово більшою на варіантах, де вносили Маджестик Бор двічі дозами по 1,5 л/га (57,8 т/га) і один раз дозою 3 л/га (56,3 т/га).

Це значно перевищило контрольний варіант (45,2 т/га), а також виявилось більшим за варіант із подвійним внесенням Маджестик Бор дозою по 1 л/га (52,4 т/га).

Щодо накопичення цукру в коренеплодах, то цей процес найактивніше проходив у рослин буряків на варіантах із подвійним внесенням мікродобрива дозами 1,5 л/га і разовим його внесенням дозою 3 л/га. Саме тут цукристість виявилася найбільшою і становила в середньому 18,7 і 18,5% відповідно, що виявилось більшим на 1,4–1,2% за контроль.

Головний інтегральний показник бурякоцукрового виробництва – збір цукру з 1 га – за результатами трирічних досліджень виявився максимальним на тих же варіантах, де була найбільшою врожайність коренеплодів, тобто на ділянках, де вносили Маджестик Бор двічі по 1,5 л/га (10,81 т/га) і один раз дозою 3 л/га (10,42 т/га).

Ключові слова: мікроелементне живлення, оптимізація врожайності, позакоренево підживлення, якість буряків, агрономічна ефективність.

¹ кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри рослинництва
(Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава)
e-mail: sergii.filonenko@pdau.edu.ua
ORCID: 0000-0001-8360-8852

² аспірант кафедри рослинництва
(Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава)
e-mail: vlad201515@ukr.net
ORCID: 0009-0003-7251-617X

PECULIARITIES OF SUGAR BEET PRODUCTIVITY FORMATION BY OPTIMIZING THEIR MICRONUTRIENT NUTRITION

S. V. Filonenko, V. M. Lysak

The article presents the results of studies on the impact of foliar application of different doses of Majestic Bor microfertilizer on the productivity of sugar beets, which were carried out during 2022–2024 in the fields of the beet-growing farm of the Poltava region.

The purpose of our experiments was to study the impact of different doses of Majestic Bor microfertilizer, applied foliarly, on the productive and quality characteristics of sugar beets in the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine.

Calculations of the density of sugar beet plants before harvesting showed that if in the control before harvesting the plant density decreased by 27,3%, then in the variants with different doses of Majestic Bor this indicator turned out to be 1,5–2,3 times less. However, the least over the years of research the density of crop plants decreased in the areas of the variant where Majestic Bor was applied twice in doses of 1,5 l/ha – by 12,1%. Here, the number of plants per 1 ha at the time of harvesting was the largest and amounted to 96,8 thousand/ha.

The yield of root crops over the years of research was the maximum and demonstrably higher in the variants where Majestic Bor was applied twice in doses of 1,5 l/ha (57,8 t/ha) and once in a dose of 3 l/ha (56,3 t/ha). This significantly exceeded the control variant (45,2 t/ha), and also turned out to be greater than the variant with a double application of Majestic Bor in a dose of 1 l/ha (52,4 t/ha).

As for the accumulation of sugar in root crops, this process took place most actively in beet plants in variants with a double application of microfertilizer in doses of 1,5 l/ha and a single application in a dose of 3 l/ha. It was here that the sugar content was the highest and amounted to, on average, 18,7 and 18,5%, respectively, which was 1,4–1,2% higher than the control.

The main integral indicator of beet sugar production – sugar yield per 1 ha – according to the results of three-year studies was maximum on the same variants where the yield of root crops was the highest, that is, on areas where Majestic Bor was applied twice at 1,5 l/ha (10,81 t/ha) and once at a dose of 3 l/ha (10,42 t/ha).

Key words: micronutrient nutrition, yield optimization, foliar fertilization, beetroot quality, agronomic efficiency.

Вступ

Буряки цукрові разом з іншими технічними культурами (соняшником, ріпаком і соєю) були й залишаються провідними культурами в сільськогосподарському виробництві (Сінченко і Пиркін, 2018; Макух і Ременюк, 2020). Їх вирощування нині, навіть попри війну з Росією та свою значну матеріально-енергозатратність, має значний економічний ефект і є привабливим з фінансового погляду для аграрія. Агропідприємство, яке вирощує буряки цукрові, не турбується про реалізацію їхніх коренеплодів, тому що цукрові заводи завжди пропонують бурякосіючим господарствам їх закупівлю на вигідних для господарств умовах (Іваніна та ін., 2024). Через це агропідприємства, які сіють буряки, мають завжди стабільне й потужне поповнення свого бюджету (Сінченко та ін., 2017; Тищенко та ін., 2020). Їхні працівники стабільно отримують заробітну плату, господарство має змогу закупляти необхідні засоби захисту рослин, мінеральні добрива, потрібну кількість і обсяг паливно-мастильних матеріалів і високоякісного насіння та інше. Як не дивно звучить, але вже два роки

поспіль буряки цукрові є однією з важливих і найприбутковіших культур польового землеробства (Сінченко та ін., 2017). Цукровий буряк заслужено повертає собі славу «короля польових культур» (Філоненко і Лисак, 2024).

Варто також згадати, що технологія вирощування цієї культури, як жодної іншої, останнім часом зазнала значних змін і вдосконалення (Бобро та ін., 2012). Навіть більше, вона ввібрала в себе всі сучасні новації аграрної науки, які втілилися у значне зростання продуктивності цієї культури й поліпшення технологічних якостей її коренеплодів (Жердецький, 2011; Філоненко, 2013).

У технології вирощування буряків цукрових системі удобрення відводиться важлива роль (Цвей та ін., 2018). Адже ця культура своєю основною і побічною продукцією виносить значну кількість макро- і мікроелементів, які потрібно поповнювати за допомогою їх внесення (Філоненко, 2008; Заришняк та ін., 2014).

Застосування мікроелементів шляхом внесення мікродобрив у бурякосіючих господарствах вже давно стало обов'язковим агрозаходом. Мікроелементи засто-

совують шляхом нанесення мікродобрив на насіння, додаючи їх до макродобрив, а також вносять позакоренево по вегетуючим рослинам (фоліарна обробка). Численні наукові дослідження доводять, що застосування мікродобрив підвищує продуктивність буряків цукрових на 5–20% і суттєво поліпшує технологічні властивості коренеплодів (Ременюк і Цвей, 2016). Нині сортимент мікродобривних препаратів включає декілька десятків назв, усі вони дозволені до застосування в Україні як для обробки насіння сільськогосподарських культур, так і для фоліарної обробки по вегетуючим рослинам. Проте регламент їх внесення включає широкі рекомендації щодо доз, ґрунтових умов і сортових особливостей культур. Тому важливим і актуальним є питання пошуку оптимальних доз мікродобрив для позакореневого застосування на посівах буряків цукрових у зоні недостатнього зволоження Лівобережного Лісостепу України. Саме такі дослідження ми і проводили з метою вивчення продуктивної реакції гібрида буряків цукрових на фоліарну обробку їх рослин різними дозами мікродобрива.

Матеріал і методи

Дослідження з вивчення впливу різних доз мікродобрива Маджестик Бор, яке вносили позакоренево, на продуктивність буряків цукрових гібриду Хорнет і технологічні якості його коренеплодів проводили на полях бурякосіючого господарства Полтавської області впродовж 2022–2024 рр. Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем звичайний глибокий середньогумусний, що характеризується нейтральною реакцією ґрунтового розчину (рН 6,8–7,0), значною буферною здатністю, добрими фізичними властивостями та вмістом гумусу на рівні 3,8%.

Вегетаційні періоди років досліджень характеризувались деякою екстремальністю погодних чинників: високою температурою повітря, яка поєднувалась із браком опадів.

На дослідних ділянках варіанту 2 позакоренево вносили мікродобриво Маджестик Бор двічі: уперше – у фазі чотирьох пар справжніх листків, а вдруге – перед змиканням листків буряків цукрових у міжряддях. Доза внесення для кожного разу – 1 л/га. На варіанті 3 регламент внесення мікродобрива був такий же, як і на варіанті 2, але доза внесення мікродобривного препарату становила по 1,5 л/га. На ділянках варіанту 3 Маджестик Бор вносили раз дозою 3 л/га у фазі початку змикання листків буряків у міжряддях. Контролем слугував варіант

без внесення мікродобрива (варіант 1). Дослідження проводили з гібридом буряків цукрових Хорнет (оригінація – фірма “SESVanderHave”, Бельгія), NZ-типу, допущений до вирощування в Україні у 2019 р.

Мета польового експерименту полягала в дослідженні реакції рослин буряків цукрових на фоліарну обробку їх різними дозами мікродобрива Маджестик Бор та встановленні ступеня впливу його на продуктивність гібрида Хорнет і технологічні якості цукросировини. На досліджуваних ділянках застосовували типову для Лісостепу технологію вирощування буряків цукрових. У проведенні досліджень користувалися загальноприйнятими методиками (Роїк та ін., 2014).

Результати

Програмою наших трирічних досліджень передбачалось вивчення впливу фоліарної обробки різними дозами мікродобрива Маджестик Бор на густоту рослин буряків цукрових. Отже, наші дослідження показали, що відповідне мікродобриво (залежно від дози внесення) має різний вплив на густоту рослин цукровмісної культури (рис. 1).

У результаті проведеного аналізу відповідних дослідних даних можна зазначити, що внесення мікродобрива Маджестик Бор загалом виявило позитивний вплив на показник густоти рослин культури, що відобразилось на збереженості їх упродовж вегетаційного періоду. Адже із часу внесення мікродобрива і аж до збирання коренеплодів буряків на всіх варіантах із різними дозами Маджестик Бор густота рослин культури була більшою, ніж на контролі, де не вносили це мікродобриво.

Середня трирічна кількість рослин буряків на одиниці площі (1 га) перед внесенням мікродобрива на всіх дослідних ділянках становила приблизно 110 тис./га. Після фоліарної обробки буряків різними дозами Маджестик Бору, зокрема за 30 днів, можна було помітити його позитивний вплив на густоту рослин. Адже на контролі відповідний показник зменшився в середньому до рівня 99,4 тис./га. Проте на варіантах із Маджестик Бором густота рослин зменшилася в цей час лише на 7–7,8 тис.

Показники густоти буряків цукрових перед збиранням урожаю показали, що комплексне мікродобриво Маджестик Бор позитивно впливає на рослини культури, підсилює їхній імунітет, тим самим зменшує кількість випавших біотипів. Тому густота рослин буряків на час збирання врожаю виявилася найбільшою саме у варіантів

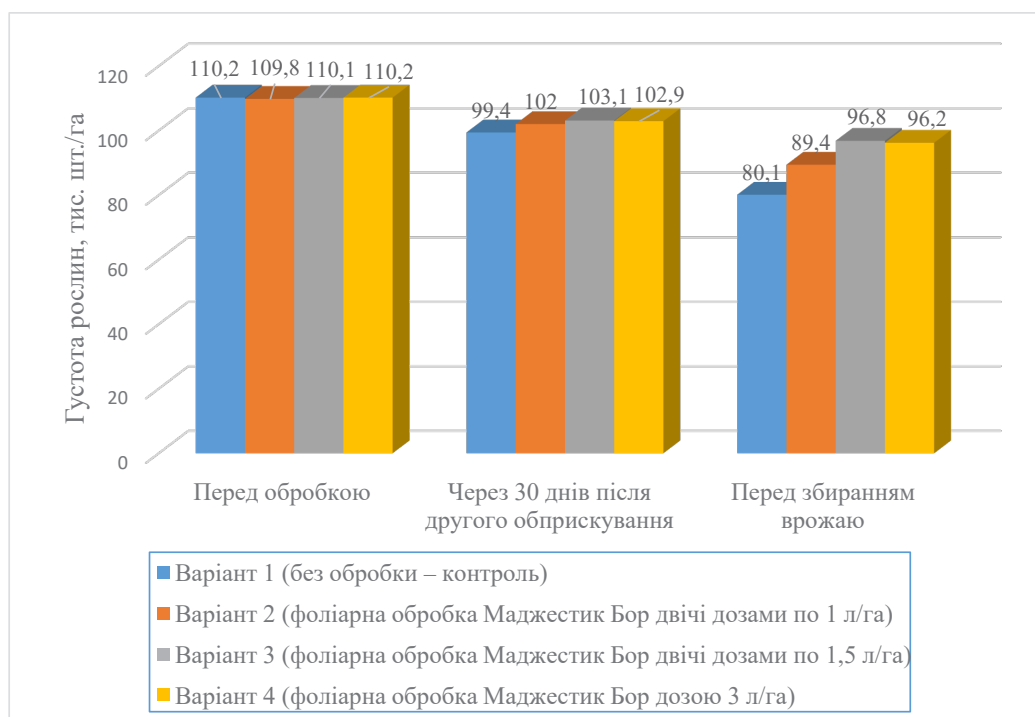


Рис. 1. Вплив фоліарної обробки різними дозами мікродобрива Маджестик Бор на густоту рослин буряків цукрових, тис. шт./га (середнє за 2022–2024 рр.)

із фоліарною обробкою мікродобривом Маджестик Бор. Якщо на контролі в середньому до збирання врожаю густота рослин зменшилася на 27,3%, то на варіантах 2, 3 і 4 цей показник виявився меншим в 1,5–2,3 рази. Проте найменше за роки досліджень знизилася густота рослин культури на ділянках варіанту 3, де Маджестик Бор вносили двічі дозами по 1,5 л/га, – 12,1%. Тут кількість рослин на 1 га на час збирання виявилася найбільшою і становила 96,8 тис./га. На варіанті 2 показник густоти виявився на рівні 89,4 тис./га, тобто за вегетаційний період на його ділянках густота буряків зменшилася на 18,6%. Щодо варіанту 4, де мікродобриво внесли раз позакореневою дозою 3 л/га, то тут густота буряків цукрових на час збирання врожаю становила 96,2 тис./га, зменшившись від початкового значення на 12,7%. Найменшою ж густота буряків цукрових виявилася на контрольному варіанті й становила 80,1 тис./га.

Урожайність буряків цукрових залежно від фоліарної обробки їх різними дозами комплексного мікродобрива Маджестик Бор характеризують дані табл. 1.

У результаті проведеного аналізу відповідних дослідних даних можна зазначити, що найбільшу за три роки врожайність

коренеплодів отримали на ділянках варіантів 3 і 4, де вносили відповідно двічі по 1,5 л/га мікродобриво Маджестик Бор (57,8 т/га) і 3 л/га разовою дозою цього ж препарату (56,3 т/га). На контролі середня трирічна врожайність культури виявилася доказово нижчою і становила 45,2 т/га.

На ділянках варіанту 2, де вносили Маджестик Бор двічі дозами по 1 л/га, отримали в середньому по 52,4 т/га коренеплодів (+15,9% до контролю).

Варто відмітити, що на ефективність фоліарної обробки різними дозами мікродобрива Маджестик Бор мали суттєвий вплив погодні умови вегетаційних періодів років досліджень. Так, наприклад, більш сприятливими виявились погодні умови літнього періоду 2022 р., що позитивно відобразилось на ростових процесах рослин культури й посприяло отриманню цього року найбільшого за роки досліджень урожаю коренеплодів. Адже саме цього року перша частина вегетаційного періоду виявилася помірно дощовою і відповідала середньобагаторічним нормам, а температура повітря теж у більшості декад мала майже однакові величини із середньобагаторічними. За таких умов буряки почали формувати потужні коренеплоди. Цей процес продов-

жився і у другій частині періоду вегетації, що позитивно відобразилось на продуктивності буряків. Найгіршими погодні умови виявились у 2024 р., коли посуха, що тривала із середини червня і до початку вересня (за весь цей час випало у 3,6 раза менше опадів, ніж за середньобагаторічними даними), разом з аномально високою температурою повітря (у червні й липні температура повітря вдень сягала 37–39 °С і більше) негативно позначилися на продуктивності буряків цукрових і не дали їм повною мірою реалізувати свій продуктивний потенціал від застосування досліджуваного мікродобрива Маджестик Бор. 2023 р. за показниками продуктивності буряків цукрових посів проміжне місце між 2022 і 2024 рр.

У кожній сільськогосподарській культурі є один або декілька важливих показників якості рослинницької сировини. У буряків цукрових таким показником є вміст цукру в коренеплодах – цукристість. Тому програмою досліджень передбачався облік цього показника залежно від застосування різних доз мікродобрива Маджестик Бор (табл. 2).

Отже, даними наших трирічних досліджень доведено, що фоліарна обробка цукроносної культури різними дозами досліджуваного мікродобрива сприяє збільшенню вмісту цукру в коренеплодах буряків. Усі дози досліджуваного препарату, різні регламенти його застосування позитивно вплинули на цукристість коренеплодів.

Хоча ступінь впливу на відповідний показник виявився дещо різним. Так, наприклад, найбільшою за три роки цукристість коренеплодів виявилася в рослин буряків на ділянках варіанту 3 і становила 18,7%, що на 1,4% перевищило контроль і на 0,2–0,3% інші досліджувані варіанти.

У розрізі років досліджень простежується теж чіткий вплив погодного чинника на відповідний показник. Найсприятливішим щодо цього виявився 2023 р. Саме цього року на ділянках усіх варіантів коренеплоди культури змогли накопичити на час збирання врожаю максимальний уміст цукру. Це пояснюється тим, що помірно розвинені рослини буряків цього року спромоглися інтенсивніше накопичити цукор завдяки сприятливим погодним чинникам другої частини вегетаційного періоду (сер-

Таблиця 1
Вплив позакореневого підживлення різними дозами мікродобрива Маджестик Бор на врожайність буряків цукрових, т/га

Варіанти досліджу	Роки досліджень			Середнє за 2022–2024 рр.
	2022 р.	2023 р.	2024 р.	
1. Без обробки – контроль.	51,6	43,3	40,7	45,2
2. Фоліарна обробка Маджестик Бор двічі дозами по 1 л/га.	61,5	51,9	43,8	52,4
3. Фоліарна обробка Маджестик Бор двічі дозами по 1,5 л/га.	66,1	55,2	52,1	57,8
4. Фоліарна обробка Маджестик Бор дозою 3 л/га.	64,9	54,5	49,5	56,3
НІР _{0,05}	2,62	2,04	1,65	

Таблиця 2
Вплив позакореневого підживлення різними дозами мікродобрива Маджестик Бор на цукристість коренеплодів, %

Варіанти досліджу	Роки досліджень			Середнє за 2022–2024 рр.
	2022 р.	2023 р.	2024 р.	
1. Без обробки – контроль.	17,0	17,6	17,2	17,3
2. Фоліарна обробка Маджестик Бор двічі дозами по 1 л/га.	17,4	19,5	18,2	18,4
3. Фоліарна обробка Маджестик Бор двічі дозами по 1,5 л/га.	17,7	19,8	18,5	18,7
4. Фоліарна обробка Маджестик Бор дозою 3 л/га.	17,6	19,7	18,3	18,5
НІР _{0,05}	0,26	0,14	0,18	

Таблиця 3

Вплив позакореневого підживлення різними дозами мікродобрива Маджестик Бор на збір цукру, т/га

Варіанти досліджу	Роки досліджень			Середнє за 2022–2024 рр.
	2022 р.	2023 р.	2024 р.	
1. Без обробки – контроль.	8,77	7,62	7,0	7,82
2. Фоліарна обробка Маджестик Бор двічі дозами по 1 л/га.	10,70	10,12	7,97	9,64
3. Фоліарна обробка Маджестик Бор двічі дозами по 1,5 л/га.	11,70	10,93	9,64	10,81
4. Фоліарна обробка Маджестик Бор дозою 3 л/га.	11,42	10,74	9,06	10,42
НІР _{0,05}	0,56	0,42	0,39	

пень і вересень помірно теплі й майже без дощів). Найгірша ситуація із цукристістю коренеплодів була у 2022 р. Адже цього року рослини буряків цукрових сформували найбільші коренеплоди, які мали найменший уміст цукру.

У буряківництві важливим інтегральним показником, за яким роблять висновок стосовно доцільності того чи іншого агрозаходу, того чи іншого препарату під час вирощування буряків цукрових, є збір цукру. Результати обліку збору цукру залежно від різних доз мікродобрива Маджестик Бор представлені в табл. 3.

Як доводять результати наших трирічних дослідів, саме фоліарна обробка подвійною дозою по 1,5 л/га і одинарною дозою 3 л/га мікродобривом Маджестик Бор виявилася найефективнішою щодо збору цукру. З ділянок цих варіантів отримали майже однаковий збір цукру – 10,81 та 10,42 т/га відповідно.

Це виявилось більшим на 2,99 і 2,6 т/га за контрольний варіант, де не вносили мікродобриво. На варіанті 2, де позакоренево вносили Маджестик Бор двічі дозами по 1 л/га, у середньому за три роки збір цукру становив 9,64 т/га.

Отже, наші дослідження довели, що фоліарна обробка рослин гібрида буряків цукрових Хорнет різними дозами мікродобрива Маджестик Бор є важливим і доцільним агрозаходом, здатним не тільки посилити імунітет буряків до критичних умов вегетаційного періоду, але й позитивно вплинути на продуктивні та якісні характеристики цукровмісної культури.

Обговорення

Наукова спільнота стверджує, що ріст і розвиток рослин буряків цукрових пов'язані з надходженням в них різних макро- та мікроелементів (Кирилюк, 2008). Цей процес

триває майже весь період вегетації. Якщо макроелементи необхідні рослинам у великих кількостях, то мікроелементи використовуються рослинами культури у значно менших кількостях, ніж сота частка відсотка (Гангур та ін., 2024). Під дією мікроелементів підвищується вміст хлорофілу в листках, зростає інтенсивність фотосинтезу, посилюється діяльність ферментативного комплексу, поліпшується дихання рослин, підвищується їхня стійкість проти хвороб. Це все позитивно впливає на збереженість рослин буряків упродовж вегетації (Заришняк і Гринів, 2015). У сучасних мікродобривних препаратах їхній склад корегується залежно від потреби рослин культури, а також може враховувати наявність мікроелементів у ґрунті. Науковці стверджують (Топчій і Жужа, 2004), що доцільно застосовувати мікродобрива з урахуванням їхнього вмісту у ґрунті, сортогенетичних особливостей культур, способу їх внесення.

Узагалі, застосування мікродобрив, як наголошують дослідники (Жердецький і Ступенко, 2014), – важливий складник організації ефективної системи збалансованого живлення рослин повним комплексом елементів. Саме він і необхідний для застосування інтенсивних технологій вирощування буряків цукрових та інших сільськогосподарських культур. Інші науковці зауважують (Заришняк і Жердецький, 2007), що перш ніж ухвалювати рішення щодо їх застосування, необхідно провести аналіз ґрунту на їх вміст. Нині позакоренево внесення мікродобрив під час вегетації рослин культури – досить широкий напрям їх застосування. Важливо, що рослини буряків цукрових позитивно реагують на фоліарну обробку мікродобривами в усіх зонах бурякосіяння. Це підтверджують результати польових досліджень (Бондар,

2017). Результати інших наукових пошуків (Аскарів, 2016) довели, що підживлення мікродобривними препаратами по вегетуючим рослинам має здійснюватись суто у критичні фази росту й розвитку рослин буряків. Найкращий результат отримали, коли мікродобривні препарати вносили спочатку у фазі 2–3 пар листків, а потім – на початку п'ятої пари справжніх листків до змикання листків у рядках.

Науковець (Якусик, 2012) вважає, що перед позакореневим внесенням мікродобрив потрібно враховувати дані рослинної діагностики. Інший дослідник (Господаренко, 2020) упевнений, що мікроелементи та мікродобрива не тільки сприяють збільшенню врожаю культур, а й поліпшують якість сільськогосподарської продукції, зокрема технологічні якості коренеплодів. Результати наших польових дослідів також підтверджують висновки цих науковців і засвідчують позитивний

вплив фоліарної обробки різними дозами мікродобрива Маджестик Бор на продуктивний потенціал і якісні характеристики буряків цукрових.

Висновки

Після узагальнення результатів наших трирічних досліджень ми дійшли висновку, що фоліарна обробка мікродобривом Маджестик Бор позитивно впливає на густоту рослин буряків цукрових, їхню продуктивність та технологічні якості коренеплодів. Кращою виявилися внесення Маджестик Бор двічі дозами по 1,5 л/га та разове внесення дозою 3 л/га відповідного мікродобривного препарату. Водночас створюються більш сприятливі умови для розвитку рослин культури, досить інтенсивного наростання маси коренеплодів і гички, ефективніше проходить процес накопичення цукру. Усі ці чинники позитивно спрацьовують на головний показник цієї культури – збір цукру.

Список використаної літератури

Аскарів В.Р. Вплив мікродобрив та фунгіцидів на врожайність, якість та ефективність вирощування цукрових буряків. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Київ, 2016. № 5 (62). С. 181–186.

Бобро М.А., Божко М.Ф., Корнієнко С.І. Технологія вирощування цукрових буряків. Харків : Магда LTD, 2012. 16 с.

Бондар В.С. Тенденції і перспективи цукрового ринку України (до підсумків роботи галузі у 2016 р.). *Цукрові буряки*. 2017. № 1 (113). С. 4–5.

Гангур В.В., Філоненко С.В., Міленко О.Г., Лисак В.М., Павленко Т.К. Продуктивні та якісні показники буряків цукрових за оптимізації мікроелементного живлення культури. *Таверітський науковий вісник*. Серія «Сільськогосподарські науки». 2024. Вип. 140. С. 96–105. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.140.13>.

Господаренко Г.М. Особливості застосування мікродобрив на цукрових буряках. *Пропозиція – головний журнал з питань агробізнесу*. 15.12.2020 [Електронний ресурс]. URL: <https://propozitsiya.com/articles/ahrokhimiya-dobryva/osoblyvosti-zastosuvannya-mikrodobryv-na-tsukrovukh-buryakakh> (дата звернення 05.07.2025).

Жердецький І.М. Технологічна якість коренеплодів цукрових буряків залежно від позакореневого застосування добрив. *Цукрові буряки*. 2011. № 4. С. 18–20.

Жердецький І.М., Ступенко О.В. Ефективне позакореневе підживлення цукрових буряків. *Пропозиція*. 2014. № 6. С. 68–74.

Заришняк А.С., Гринів С.М. Вплив рівня мінерального живлення, густоти стояння на врожайність та якість коренеплодів цукрових буряків. *Вісник аграрної науки*. 2015. № 10. С. 11–14.

Заришняк А.С., Жердецький І.М. Позакореневе внесення мікроелементів у формі комплексонатів металів на культурі цукрових буряків. *Цукрові буряки*. 2007. № 3. С. 18–20.

Заришняк А.С., Руцька С.І., Шиманська Н.К. Добрива, сівозміни і продуктивність. *Цукрові буряки*. 2014. № 1. С. 8–9.

Іваніна В.В., Стрілець О.П., Зацерковна Н.С. Особливості живлення цукрових буряків. *Пропозиція – головний журнал з питань агробізнесу*. 23.04.2024 [Електронний ресурс]. URL: <https://propozitsiya.com/articles/ahrokhimiya-dobryva/osoblyvosti-zhyvlennya-tsukrovukh-buryakiv> (дата звернення 07.06.2025).

Кирилюк В.П. Вплив системи основного обробітку ґрунту та позакореневого внесення мікродобрив на продуктивність цукрових буряків. *Цукрові буряки*. 2008. № № 3–4. С. 31–33.

Макух Я.П., Ременюк С.О. Раціональне керування вирощуванням цукрових буряків. *Пропозиція – головний журнал з питань агробізнесу*. 13.05.2020 [Електронний ресурс]. URL: <https://propozitsiya.com/ua/racionalne-keruvannya-vyroshchuvannya-cukrovukh-buryakiv> (дата звернення 16.06.2025).

Методики проведення досліджень у буряківництві / за заг. ред. М.В. Роїка, Н.Г. Гізбуліна. Київ : ІБКіЦБ НААН, 2014. 373 с.

Ременюк Ю.О., Цвей Я.П. Аспекти технології вирощування цукрових буряків. *Хімія. Агрономія. Сервіс*. 2016. № 3. С. 42–45.

Сінченко В.М., Пиркін В.І., Широкоступ О.В. Досвід отримання високих урожаїв цукрових буряків. *Агроном*. 20.02.2017 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.agronom.com.ua/dosvid-otrymannya-vysokyh-vrozhayiv-tsukrovyyh-buryakiv/> (дата звернення 24.06.2025).

Сінченко В.М., Пиркін В.І. Стратегія розвитку галузі буряківництва в Україні. *Цукрові буряки*. 2018. № 1 (117). С. 4–8.

Тищенко М.В., Філоненко С.В., Боровик І.В., Коваль О.В., Гудименко Ж.В. Економічна ефективність короткоротаційної плодозмінної сівозміни залежно від системи удобрення цукрових буряків. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. № 3. С. 91–98. <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.03.10>.

Топчій В., Жужа В. Мікродобрива – необхідний крок для росту врожаю. *Агроном*. 2004. № 3. С. 64–67.

Філоненко С.В. Продуктивність та технологічні якості коренеплодів цукрового буряка залежно від позакореневого підживлення мікродобривами. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2008. № 2. С. 47–52.

Філоненко С.В. Продуктивність і технологічні якості коренеплодів буряка цукрового залежно від позакореневого внесення регулятора росту Марс-1. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2013. № 4. С. 14–19. <https://doi.org/10.31210/visnyk2013.04.03>.

Філоненко С.В., Лисак В.М. Оптимізація продуктивних та якісних характеристик буряків цукрових за позакореневого внесення мікродобрив. *Актуальні напрями та проблематика в технологіях вирощування продукції рослинництва* : матеріали II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, м. Полтава, 2 травня 2024 р. Полтава : ПДАУ, 2024. С. 35–37.

Цвей Я.П., Тищенко М.В., Філоненко С.В. Моніторинг забур'яненості посівів сільськогосподарських культур у ланці зернобурякової сівозміни у виробничих умовах. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. № 1. С. 23–30. <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.01.03>.

Якусик М.М. Форми і норми добрив і технологічні якості коренеплодів. *Цукрові буряки*. 2012. № 2. С. 7–8.

References

Askarov, V.R. (2016). Vplyv mikrodobryv ta funhitsydiv na urozhainist, yakist ta efektyvnist vyroshchuvannya tsukrovyykh buriakiv [The effect of microfertilizers and fungicides on the yield, quality and efficiency of sugar beet cultivation]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy [Scientific reports of the National University of Life Resources and Environmental Management of Ukraine]*, 5 (62) [in Ukrainian].

Bobro, M.A., Bozhko, M.F., & Korniienko, S.I. (2012). Tekhnolohiia vyroshchuvannya tsukrovyykh buriakiv [Sugar beet growing technology]. Kharkiv: Mahda LTD, 16 s. [in Ukrainian].

Bondar, V.S. (2017). Tendentsii i perspektyvy tsukrovoho rynku Ukrainy (do pidsumkiv roboty haluzi v 2016 r.) [Trends and prospects of the sugar market of Ukraine (to the results of the industry in 2016)]. *Tsukrovi buriaky [Sugar beets]*, 1 (113), 4–5 [in Ukrainian].

Hanhur, V.V., Filonenko, S.V., Milenko, O.H., Lysak, V.M., & Pavlenko, T.K. (2024). Produktivni ta yakisni pokaznyky buriakiv tsukrovyykh za optymizatsii mikroelementnoho zhyvlennia kultury [Productivity and quality indicators of sugar beets with optimization of micronutrient nutrition of the crop]. *Tavriskiyi naukovyi visnyk. Seriya: Silskohospodarski nauky [Tavria Scientific Bulletin. Series: Agricultural Sciences]*, 140, 96–105. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.140.13> [in Ukrainian].

Hospodarenko, H. (2020). Osoblyvosti zastosuvannya mikrodobryv na tsukrovyykh buriakakh [Features of the use of microfertilizers on sugar beets]. *Propozytsiia – holovnyi zhurnal z pytan ahrobiznesu [Proposition – the leading magazine on agribusiness]*. [Electronic resource] URL: <https://propozitsiya.com/articles/ahrokhimiya-dobryva/osoblyvosti-zastosuvannya-mikrodobryv-na-tsukrovyykh-buryakakh> (access date 05.07.2025) [in Ukrainian].

Zherdetskyi, I.M. (2011). Tekhnolohichna yakist koreneplodiv tsukrovyykh buriakiv zalezno vid pozakorenevoho zastosuvannya dobrov [Technological quality of sugar beet root crops depending on foliar fertilizer application]. *Tsukrovi buriaky [Sugar beets]*, 4, 18–20 [in Ukrainian].

Zherdetskyi, I.M., & Stupenko, O.V. (2014). Efektyvne pozakoreneve pidzhyvlennia tsukrovyykh buriakiv [Effective foliar feeding of sugar beets]. *Propozytsiia [Proposition]*, 6, 68–74 [in Ukrainian].

Zaryshniak, A.S., & Hryniv, S.M. (2015). Vplyv rivnia mineralnoho zhyvlennia, hustoty stoiannia na urozhainist ta yakist koreneplodiv tsukrovyykh buriakiv [The influence of the level of mineral nutrition and planting density on the yield and quality of sugar beet root crops]. *Visnyk ahraryi nauky [Bulletin of Agricultural Science]*, 10, 11–14 [in Ukrainian].

Zaryshniak, A.S., & Zherdetskyi, I.M. (2007). Pozakoreneve vnesennia mikroelementiv u formi kompleksonativ metaliv na kulturi tsukrovyykh buriakiv. [Foliar application of trace elements in the form of metal complexates on sugar beet crops]. *Tsukrovi buriaky [Sugar beets]*, 3, 18–20 [in Ukrainian].

- Zaryshniak, A.S., Rutska, S.I., & Shymanska, N.K. (2014). Dobryva, sivozminy i produktyvnist [Fertilizers, crop rotations and productivity]. *Tsukrovi buriaky [Sugar beets]*, 1, 8–9 [in Ukrainian].
- Ivanina, V., Strilets, O., & Zatserkovna, N. (2024). Osoblyvosti zhyvlennia tsukrovykh buriakiv [Features of sugar beet nutrition]. *Propozytsiia – holovnyi zhurnal z pytan ahrobiznesu [Proposition – the leading magazine on agribusiness]*. [Electronic resource] URL: <https://propozitsiya.com/articles/ahrokhimiya-dobryva/osoblyvosti-zhyvlennya-tsukrovykh-buryakiv> (access date 07.06.2025) [in Ukrainian].
- Kyryliuk, V.P. (2008). Vplyv systemy osnovnoho obrobitku gruntu ta pozakorenevoho vnesennia mikrodozryv na produktyvnist tsukrovykh buriakiv [The influence of the main tillage system and foliar application of microfertilizers on the productivity of sugar beets]. *Tsukrovi buriaky [Sugar beets]*, 3–4, 31–33 [in Ukrainian].
- Makukh, Ya., & Remeniuk, S. (2020). Ratsionalne keruvannia vyroshchuvanniam tsukrovykh buriakiv [Rational management of sugar beet cultivation]. *Propozytsiia – holovnyi zhurnal z pytan ahrobiznesu [Proposition – the leading magazine on agribusiness]* [Electronic resource]. URL: <https://propozitsiya.com/ua/ratsionalne-keruvannya-vyroshchuvanniam-cukrovykh-buryakiv> (access date 16.06.2025) [in Ukrainian].
- Metodyky provedennia doslidzhen u buriakivnytstvi (2014). [Research methods in beet growing]. za zah. red. M.V. Roika, N.H. Hizbullina. Kyiv: Instytut bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv NAAN [in Ukrainian].
- Remeniuk, Yu.O., & Tsvei, Ya.P. (2016). Aspekty tekhnolohii vyroshchuvannia tsukrovykh buriakiv [Aspects of sugar beet growing technology]. *Khimiia. Ahronomiia. Servis [Chemistry. Agronomy. Service]*, 3, 42–45 [in Ukrainian].
- Sinchenko, V.M., Pyrkin, V.I., & Shyrokozup, O.V. (2017). Dosvid otrymannia vysokykh vrozhaiv tsukrovykh buriakiv [Experience in obtaining high yields of sugar beets]. *Ahronom [Agronomist]*, 2, 27–31 [Electronic resource]. URL: <https://www.agronom.com.ua/dosvid-otrymannya-vysokykh-vrozhayiv-tsukrovykh-buryakiv/> (access date 24.06.2025) [in Ukrainian].
- Sinchenko, V.M., & Pyrkin, V.I. (2018). Stratehiia rozvytku haluzi buriakivnytstva v Ukraini [Strategy for the development of the beet growing industry in Ukraine]. *Tsukrovi buriaky [Sugar beets]*, 1 (117), 4–8 [in Ukrainian].
- Tyshchenko, M.V., Filonenko, S.V., Borovyk, I.V., Koval, O.V., & Hudymenko, Zh.V. (2020). Ekonomichna efektyvnist korotkorotatsiinoi plodozminnoi sivozminy zalezho vid systemy udobrennia tsukrovykh buriakiv [Economic efficiency of short-rotation crop rotation depending on the sugar beet fertilization system]. *Visnyk PDAA [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy]*, 3, 91–98. <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.03.10> [in Ukrainian].
- Topchii, V., & Zhuzha, V. (2004). Mikrodozryva – neobkhidnyi krok dlia rostu vrozhaiv [Microfertilizers are a necessary step for crop growth]. *Ahronom [Agronomist]*, 3, 64–67 [in Ukrainian].
- Filonenko, S.V. (2008). Produktyvnist ta tekhnolohichni yakosti koreneplodiv tsukrovoho buriaka zalezho vid pozakorenevoho pidzhyvlennia mikrodozryvamy [Productivity and technological qualities of sugar beet root crops depending on foliar feeding with microfertilizers]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarynoi akademii [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy]*, 2, 47–52 [in Ukrainian].
- Filonenko, S.V. (2013). Produktyvnist i tekhnolohichni yakosti koreneplodiv buriaka tsukrovoho zalezho vid pozakorenevoho vnesennia rehuliatora rostu Mars-1 [Productivity and technological qualities of sugar beet root crops depending on foliar application of the growth regulator Mars-1]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarynoi akademii [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy]*, 4, 14–19. <https://doi.org/10.31210/visnyk2013.04.03> [in Ukrainian].
- Filonenko, S.V., & Lysak, V.M. (2024). Optyimizatsiia produktyvnykh ta yakisnykh kharakterystyk buriakiv tsukrovykh za pozakorenevoho vnesennia mikrodozryv [Optimization of productive and qualitative characteristics of sugar beets with foliar application of microfertilizers]. *Aktualni napriamy ta problematyka u tekhnolohiiakh vyroshchuvannia produktsii roslynnytstva [Current trends and issues in crop production technologies]: materialy II Mizhnarodnoi nauk.-praktych. internet-konf. Poltava : PSAU*, 35–37 [in Ukrainian].
- Tsvei, Ya.P., Tyshchenko, M.V., & Filonenko, S.V. (2018). Monitorynh zaburianenosti posiviv silskohospodarskykh kultur u lantsi zernoburiakovoi sivozminy u vyrobnychykh umovakh [Monitoring of weed infestation of agricultural crops in the grain-beet crop rotation chain under production conditions]. *Visnyk PDAA [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy]*, 1, 23–30. <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.01.03> [in Ukrainian].
- Yakusykh, M.M. (2012). Formy i normy dozryv i tekhnolohichni yakosti koreneplodiv [Forms and rates of fertilizers and technological qualities of root crops]. *Tsukrovi buriaky [Sugar beets]*, 2, 7–8 [in Ukrainian].

Отримано: 14.07.2025

Прийнято: 26.08.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 635.15:631.5

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.31>

ПОТЕНЦІАЛ І ЕФЕКТИВНІСТЬ БІОФУМІГАЦІЇ ҐРУНТУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РЕДЬКИ ОЛІЙНОЇ В СИСТЕМІ ЛІТНЬОЇ ПРОМІЖНОЇ СИДЕРАЦІЇ

Я. Г. Цицюра¹

Обґрунтовано ефективність та значущість застосування біофумігації ґрунту завдяки використанню сидеральних культур. Сформульовано основні переваги цього агротехнологічного заходу з огляду на комплексність у забезпеченні зниження ґрунтової, істотного обмеження сегетальної рослинності та ґрунтових патогенів, підсилення мікробіологічного потенціалу ґрунту тощо. Мета передбачала дослідження ефективності та доцільності біофумігації завдяки використанню як одновидового варіанту редьки олійної, вирощуваної як сидерат проміжного (літнього) періоду вегетації. За багаторічний цикл досліджень (2020–2024 роки) визначено основні складники ефективності використання редьки олійної як одновидового біофуміганту на сірих лісових ґрунтах за такими показниками, як: надземна та коренева біопродуктивність, здатність до реалізації біопродуктивного потенціалу за динамічної зміни кліматичних умов періоду оцінювання, глюкозинолатний потенціал листостеблової та кореневої маси, антисегетальний потенціал загального та внутрішньовидового типу, вплив на мікробіологічну структуру ґрунту тощо.

За результатами досліджень визнано доцільним у плані реалізації концепції ґрунтовідновлення та ґрунтозбереження за застосування компонентів і складників природного біоорганічного походження технології біофумігації у сівозміні, який передбачає систематичне використання в сівозміні редьки олійної (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.), вирощеної за літнього строку сівби на неудобреному фоні з нормою висіви 2,5 млн/га схожих насінин звичайним рядковим способом, скошеної у фазі цвітіння (ВВСН 64–67) з одночасним подрібненням на відрізки завдовжки 3–4 см та заробленої у ґрунт шлямхом інтенсивного ротацийного дискового перемішування із ґрунтом на глибину 14–16 см з подальшим біоконсервуванням на 5–7 діб через укриття поверхні ґрунту білим агроволокном звичайного геотекстильного типу щільністю 30–50 г/м². Застосування такого технологічного варіанту біофумігації дозволило в сівозміні за п'ятирічний цикл обліків досягти зниження показника кількісної забур'яненості на 41,16%, вагової – на 33,35%, за зниження потенційної засміченості ґрунту в шарі 0–30 см на 17,28% порівняно з контролем. Встановлено також позитивний вплив даної технології на зміну структури мікробіологічної структури ґрунту: збільшення загальної кількості мікроорганізмів на 18,51%, амоніфікаторів – на 27,27%, фосформобілізуючих бактерій – на 10,53%, актиноміцетів – на 50,0% за одночасного зниження кількості оліготрофів на 22,23%, грибів – на 13,56%.

Ключові слова: глюкозинолатний потенціал, рівень забур'яненості, потенційна засміченість ґрунту, мікробіологічна структура ґрунтового комплексу.

¹ кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)
e-mail: yaroslavtsytsyura@ukr.net
ORCID: 0000-0002-9167-833X

POTENTIAL AND EFFECTIVENESS OF SOIL BIOFUMIGATION THROUGH THE USE OF OILSEED RADISH IN A SUMMER INTERMEDIATE GREEN MANURE SYSTEM

Y. G. Tsytsiura

The effectiveness and significance of soil biofumigation through the use of green manure crops have been substantiated. The main advantages of this agrotechnological practice have been outlined, emphasizing its comprehensive role in reducing soil fatigue, significantly suppressing weed infestation and soil-borne pathogens, and enhancing the soil's microbiological potential. The aim of the study was to assess the efficiency and feasibility of biofumigation using oilseed radish as a single-species variant cultivated as a green manure crop during the intermediate (summer) growing period.

Based on a multi-year research cycle (2020–2024), the study identifies the main components of the effectiveness of oilseed radish as a monovarietal biofumigant on grey forest soils, focusing on the following indicators: aboveground and root bioproductivity, realization of bioproductive potential under dynamic climate change conditions, glucosinolate potential of the leaf-stem and root biomass, overall and intraspecific allelopathic potential, and influence on soil microbial structure.

Research findings support the feasibility of applying biofumigation technology within crop rotations for soil restoration and conservation, using components of natural bio-organic origin. The proposed system involves the systematic use of oilseed radish grown as a summer-sown green manure crop under unfertilized conditions, with a seeding rate of 2,5 million viable seeds per hectare, sown in conventional rows. Plants were mown at flowering stage (BBCH 64–67), chopped into 3–4 cm pieces, and incorporated into the soil via intensive rotary disc mixing to a depth of 14–16 cm, followed by bioconservation for 5–7 days using surface coverage with white agrotexile (geotexile type, 30–50 g/m² density).

This technological variant of biofumigation, over a five-year accounting cycle, resulted in a 41,16% reduction in weed infestation density, a 33,35% decrease in total weed biomass, and a 17,28% reduction in the potential weed seed bank in the 0–30 cm soil layer, compared to the control. A positive impact was also observed on the microbiological structure of the soil: total microbial counts increased by 18,51%, ammonifiers by 27,27%, phosphorus-mobilizing bacteria by 10,53%, and actinomycetes by 50,0%, while the counts of oligotrophs and fungi decreased by 22,23% and 13,56%, respectively.

Key words: *glucosinolate potential, weed infestation level, potential weed seedbank, microbiological structure of the soil complex.*

Вступ

Біофумігація є інноваційним напрямом у системах органічного землеробства та важливим супутнім складником сидеральних систем удобрення. Вона ґрунтується на доведених базових принципах аелопатичної, антипатогенної та ентомологічно регулюючої дії біохімічних похідних, отриманих у результаті розкладу у ґрунтового профілі рослинної біомаси різновидового походження (Duff et al., 2020). Термін виник зовсім недавно та був уведений у загальне користування із середини минулого десятиліття. Нині біофумігація розглядається як базова основа всіх агротехнологій біоорганічного спрямування, спрямованих на зниження ґрунтової деградації, забезпечення збереження потенціалу родючості ґрунтів, запобігання процесам ґрунтовтоми та фітотоксичності ґрунтового покриву, якісне посилення фіторемідаційних технологій, та як вагома альтернатива класичним системам мінерального удобрення на ґрунтах із низьким потенціалом ґрунтової родючості (Kirkegaard & Sarwar, 2020). Технологія біо-

фумігації позитивно узгоджується з положеннями та принципами європейського «зеленого курсу» у напрямі реалізації сучасних агротехнологій, забезпечення органічності вирощеної продукції, зниження її собівартості за одночасного підвищення ринкової привабливості, формування засад до зниження дегуміфікації та декальцинації ґрунтів, гарантування високих рівнів мікробіологічного потенціалу ґрунтового профілю, істотного зниження його різновидової фітотоксичності тощо (Villalta et al., 2016; Galaup, 2018; Ahmed et al., 2022).

Водночас підходи до реалізації біофумігації базуються на двох основних технологічних рішеннях: внесенні спеціальних компонентів і речовин, які володіють вираженим біофумігаційним ефектом і є загалом безпечними для ґрунту (Potgieter et al., 2013), та забезпечення реалізації біофумігаційних процесів у ґрунтовому профілі завдяки прямій сидерації в різних її технологічних варіантах (Zachariah, 2011). Водночас пряма сидерація розглядається як більш доцільне та бажане агротехнологічне рішення для

забезпечення процесів біофумігації (Yim et al., 2016).

Сидерація – відомий і широкоапробований спосіб природного варіанту біоциклічного способу колообігу біогенних елементів у системі ґрунт – довкілля, що базується на функціонуванні ґрунтового середовища як складної системи, для якої найбільш характерними є реутилізація та іммобілізація свіжої органічної маси та похідних різновидових рослинних відходів, що гарантує ґрунтозбереження завдяки нормалізації фітоценологічних взаємозв'язків в агроценозі, зниження рівня екологічного й агрохімічного тиску на фоні одночасного ефективного поповнення ґрунтового профілю органікою та цілою низкою біогенних елементів і фітоактивних сполук. Це додатково сприяє істотному зниженню потреби в дорогих мінеральних добривах і компенсує потребу в дефіцитній натепер органіці тваринного походження – гною (Kirkegaard & Matthiessen, 2004; Lefebvre, 2018; Perniola et al., 2019).

Варто зазначити, що біофумігаційний потенціал культур, які застосовуються як сидерати, є різним як за реалізацією, так і за ефективністю. Це потребує пошуку відповідних видів сидератів чи їх сумішей для забезпечення ефективного процесу сидерації, гарантування агрономічно доцільного рівня супутнього біофумігаційного ефекту (Kirkegaard & Sarwar, 1999; Santos et al., 2021; Batistić et al., 2025).

Щодо цього варто зауважити, що хрестоцвітні види сидератів віднесено до високоефективних сидеральних культур, які володіють високою адаптивністю, вираженою толерантністю до зміни строків сівби, високими темпами наростання надземної та кореневої біомаси якісного біохімічного складу та, завдяки вмісту глюкозинолатів у ній, володіють вираженими потенційними біофумігаційними властивостями, які опосередковано досить широко використовуються у практиці загального оздоровлення ґрунту (Gimsing & Kirkegaard, 2006; Edwards & Ploeg, 2014; Abdallah et al., 2020; Patil et al., 2020).

З позиції все більш широкого залучення редьки олійної як культури багаточілового використання, з високим адаптивним потенціалом (Tsytsiura, 2024a, 2024b), важливо було дослідити її ефективність як біофумігаційного агента в сидераційних технологіях застосування на сірих лісових ґрунтах в умовах нестійкого зволоження.

Матеріал і методи

Дослідження проводили впродовж 2020–2024 рр. в умовах дослідного поля Вінницького національного аграрного університету, на сірих лісових ґрунтах. Ґрунтовий покрив дослідних ділянок мав такі агрохімічні показники: уміст гумусу – 2,68%, легкогідролізованого азоту – 81,5 мг/кг ґрунту, рухомого фосфору – 176,1 мг/кг ґрунту, обмінного калію – 110,8 мг/кг ґрунту, рНксл – 5,8.

Використовували систему літнього вирощування редьки олійної на неудобреному фоні з нормою висіву 2,5 млн схожих насінин/га звичайним рядковим способом. Редьку олійну вирощували до фази цвітіння (ВВСН 64–67), коли вміст глюкозинолатів у рослині досягав свого максимуму. Вирощену масу підкошували з одночасним подрібненням на відрізки завдовжки у 3–4 см (використання мульчера типу Mateng EF 155) із заробкою її у ґрунт інтенсивним ротаційним дисковим перемішуванням із ґрунтом на глибину 14–16 см та подальшим біоконсервуванням на 5–7 діб шляхом укриття поверхні ґрунту після загортання сидерата білим агроволокном (звичайного типу геотекстиль зі щільністю 30–50 г/м²). Агроволокно застосовували для збереження біофумігантного ефекту в результаті розкладенні глюкозинолатів у листостебловій масі редьки олійної та оптимізації початкових процесів розкладу маси у ґрунті. Контрольним був варіант без застосування сидерації. Облікова площа ділянки 25 м². Повторність досліду чотириразова. Даний спосіб сидерації з позиції головного чинника, який вивчали, досліджували під такі культури сівозміни дослідного поля: кукурудзу на зерно, соняшник, нут, сою.

Облік надземної маси рослин проводили у фазі цвітіння методом пробних ділянок (1 м²) (по 4 в кожній повторності, зважування на лабораторних вагах (WALCOM LB3002 (±0,01 г)). Показник сформованої кореневої біомаси визначали на основі застосування стандартних підходів методу мікромонолітів (Bublitz et al., 2022). Вміст сухої речовини (далі – СР) у надземній і кореневій масі рослин визначали методом висушування до постійної маси за 105°C і озолення за 550°C.

Вміст глюкозинолатів у листостебловій і кореневій біомасі рослин редьки олійної визначали відповідно до ISO 9167:2019 (2019 р.).

Мікробіологічний потенціал ґрунту з позиції класифікуючих видів мікроорганізмів

визначали на підставі стандартної методики культивування витяжки із ґрунту на різних ґрунтових середовищах із наступною ознаково-класифікуючою ідентифікацією на основі чітких ознак вирощеної культури (відповідно до (Barillot et al., 2013)).

Для обліку бур'янів за кількісними та фітоценологічними параметрами застосовували стандартну методику Європейської асоціації гербологів (EWRS), що ухвалена для застосування в Україні (Rana & Kumar, 2014).

Статистичну обробку отриманих експериментальних даних проведено відповідно до стандартних методів (Wong, 2018) за допомогою програмних пакетів "Ekel" та "Statistica 10".

Результати

Гідротермічні умови періоду досліджень підтвердили належність території до умов нестійкого зволоження помірного континентального типу (табл. 1). Виходячи з характерного для зони досліджень середньобагаторічного показника варіювання суми опадів на рівні 24,3%, суми опадів на рівні 17,8% та відносної вологості повітря на рівні 15,9%, показники періоду досліджень варто схарактеризувати як період з нестійким зволоженням, з оптимумом показника для умов 2022 р. та з мінімальним режимом оптимальності для умов 2024 р.

Адаптивний потенціал редьки олійної за проміжного літнього сидераційного використання підтверджено результатами зіставлення сформованої загальної біопродуктивності рослин на фоні мінливості спостереженого гідротермічного режиму (табл. 2). Зокрема, рівень детермінації сформованої листостеблової маси прямо залежав за характером формування у значенні 52–64% від суми опадів та 18,7–39,6% від відносної вологості, на противагу оберненій детермінації у значенні 25,9–37,8% від середньодобової температури.

Наявність різниці між 100% факторним формуванням і реальними рівнями залежності на середньому рівні 56,5% (на підставі (Wong, 2018)) підтверджує наявність механізмів пристосування рослин редьки олійної до різнострокового сидерального використання в літній період за загального скорочення довжини світлового дня.

Сформована листостеблова сидеральна маса редьки олійної на період досягнення максимального біофумігаційного потенціалу на фазу цвітіння (ВВСН 64–67) різнилася за роками залежно від параметрів гідротермічного режиму періоду її вегетації

і коливалась від 9,49 до 24,77 т/га (табл. 2). У підсумку за п'ятирічний період даний показник становив у сирій масі 16,69 т/га (за міжрічного варіювання 38,45%), у сухій речовині – 2,56 т/га (32,95%). Отриманий потенціал оцінено як високий, беручи до уваги досяжні рівні продуктивності інших видів хрестоцвітих у зоні досліджень (як-от гірчиця біла, ріпак ярий, суріпиця яра, озимий ріпак за сидерального використання) в інтервалі надземної біомаси 7,5–20,4 т/га (1,96–3,19 т/га у сухій речовині). З позиції формування кореневої біомаси редька олійна продемонструвала також високий потенціал продуктивності з показником на рівні середньобагаторічних даних для традиційно використовуваної в Україні гірчиці білої. Варто також зазначити позитивну властивість проміжного сидерального застосування редьки олійної з позиції показника продуктивності її кореневої системи у значенні співвідношення сформованої надземної та кореневої біомаси. Так, у середньому за період досліджень даний показник був на рівні 3,00 для показника сформованої сирої речовини та 2,01 для показника сформованої сухої речовини. Такі значення відповідають найбільш продуктивним сидеральним культурам різних ботанічних груп і дозволяють віднести редьку олійну до культури з потенціалом комбінованого біофумігаційного потенціалу з позиції застосування як надземної, так і кореневої біомаси.

Оцінений біофуміганційний потенціал редьки олійної за сумарним умістом глюкозинолатів у листостебловій і кореневій масі також підтвердив ефективність її застосування як біофуміганту (табл. 3). Критерій умісту глюкозинолатів є головним і вирішальним у концепції формування біофумігаційного потенціалу сидеральних культур, оскільки саме ці сполуки несуть основне навантаження з позиції реалізації основ ґрунтової біофумігації. Установлено, що ці сполуки беруть участь у формуванні стресових реакцій рослин на абіотичні чинники. Їхній інтенсивний ріст мав високі рівні достовірної кореляції зі збільшенням загального стресу вегетаційного періоду за кліматичними параметрами. Це особливо важливо для проміжних культур, які часто вирощуються в літньо-осінній період зі зростанням стресових умов навколишнього середовища. Глюкозинолати є також основними компонентами з позиції регуляції бактеріальної інфекції ґрунту, формування його аелопатичного потенціалу та прямої

обмежувальної гербостатичної дії (Sennett et al., 2021; Walker et al., 2022). Водночас доведено, що рівень концентрації глюкозинолатів вище 12 мкмоль/г сухої речовини формує належні передумови для ініціювання ефективного процесу біофумігації під час розкладання рослинної маси у ґрунті (Gimsing & Kirkegaard, 1998; Hanschen et al., 2015; Duff et al., 2020).

Виходячи з отриманих даних щодо середнього вмісту глюкозинолатів у листостебловій і кореневій біомасі редьки олійної – 19,95 мкмоль/г сухої речовини та 17,67 мкмоль/г сухої речовини відповідно, робимо висновок, що редька олійна мала високий потенціал для біофумігаційних технологій. Цей потенціал загалом для рослини оцінено на рівні 72,76 моль/га. Позитивним є і високий вміст глюкозинолатів і у сформованій кореневій біомасі, що дозволяє рекомендувати редьку олійну з позиції ґрунтової біофумігації завдяки використанню лише її корневих решток. З позиції оцінювання продуктивності формування кореневої біомаси (див. табл. 2) це дозволить досягнути фіофумігаційної продуктивності за вмістом глюкозинолатів на рівні 21–32 моль/га.

Для порівняння варто зауважити, що інтервал 60–105 моль/га був досягнутий за використання різних видів гірчиці (гірчиця біла (*Sinapis alba*), гірчиця ефіоп-

ська (*Brassica carinata*), гірчиця індійська (*Brassica juncea*), гірчиця кормова (*Brassica napus*), гірчиця чорна (*Brassica nigra*) у чистих посівах або в різних сумішах (Kirkegaard & Sarwar, 1998).

Цей результат позитивно корелює з дослідженням (Duff et al., 2020). Відзначено ефективний рівень вмісту GSL для досягнення множинних цілей біофумігації ґрунту сидератами (тобто ефективності реалізації основних завдань біофумігації ґрунту завдяки сидеральній масі) за весняного та літнього посіву залежно від виду хрестоцвітих рослин у діапазоні 30–105 моль/га.

За результатами тривалого оцінювання доведено ефективність застосування редьки олійної у варіантах біофумігації ґрунту за використання сидеральної маси редьки олійної щодо контролю рівня забур'яненості у відповідних ланках культур у сівозміні (табл. 4).

За результатами багаторічного оцінювання, застосування технології біофумігації забезпечило істотно нижчу забур'яненість наступних культур у сівозміні. Відмічено середньобагаторічний показник зниження кількісної забур'яненості у значенні 41,16%, а показника вагової забур'яненості – 33,35%.

Зазначимо, що застосування біофумігаційної сидеральної технології за використання редьки олійної позитивно вплинуло

Таблиця 1
Основні складники гідротермічного режиму періоду вегетації рослин-сидератів, 2020–2024 рр.

Роки та періоди оцінювання VII–XII/I–IV	За період				
	Показник середньодобової температури повітря, °С	Загальна сума активних температур, °С	Сума опадів, мм	Відносна вологість повітря, %	Загальний індекс зволоження, мм/°С
2020/2021 рр.	9,17	2 689,7	656,4	77,4	0,244
2021/2022 рр.	7,66	2 329,3	481,2	78,5	0,207
2022/2023 рр.	8,41	2 546,8	855,5	78,1	0,336
2023/2024 рр.	10,05	3 056,5	747,9	76,8	0,245

Таблиця 2
Загальна біопродуктивність редьки олійної за літнього сидерального використання на фазу цвітіння (ВВСН 64–67), 2020–2024 рр.

Показники	2020 р.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.	НІР _{0,5}
Сформована сира листостеблова маса, т/га	11,29	16,22	24,77	21,39	9,77	1,53
Уміст сухої речовини в листостебловій масі, %	16,08	16,83	13,43	15,75	15,86	0,19
Сформована листостеблова маса в сухій речовині, т/га	1,82	2,73	3,33	3,37	1,55	0,31
Сформована сира коренева маса, т/га	3,09	6,49	8,03	7,33	2,84	0,72
Уміст сухої речовини в кореневій масі, %	22,65	23,27	21,92	23,47	23,94	0,11
Сформована коренева маса в сухій речовині, т/га	0,70	1,51	1,76	1,72	0,68	0,17

й на зменшення та загальну зміну структури видового забур'янення наступних за біофумігацією культур. Так, загальне зниження частки ярої ранньої групи бур'янів у середньобагаторічному вимірі в розрізі проаналізованих агроценозів сільськогосподарських культур становило 49,55% у кількісному та 34,52% у ваговому виразі.

Для інших груп бур'янів дана редукція становила: для пізньої ярої групи – 41,01 та 34,23%, зимуючих – 39,58 і 15,41%, для багаторічної групи – 40,53 та 28,29% відповідно. За біофумігації змінюється структура співвідношення різних біологічних груп сегетальної рослинності з домінуванням ярої пізньої групи.

Таблиця 3

Глюкозинолатний потенціал листостеблової та кореневої біомаси редьки олійної, 2020–2024 рр.

Показники	2020 р.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.	НІР _{0,5}
Уміст глюкозинолатів у надземній біомасі, мкмоль / г сухої речовини	19,75	21,53	17,17	20,09	21,19	0,41
Уміст глюкозинолатів у кореневій біомасі, мкмоль / г сухої речовини	17,16	18,78	15,26	18,00	19,11	1,12
Вихід глюкозинолатів із надземною біомасою, моль/га	36,00	58,81	57,23	67,74	32,84	0,33
Вихід глюкозинолатів із кореневою біомасою, моль/га	12,01	28,36	26,86	30,96	12,99	0,28
Загальний вихід глюкозинолатів зі сформованою біомасою рослини, моль/га	48,01	87,17	84,09	98,70	45,83	0,31

Таблиця 4

Вплив застосування проміжної сидерації редькою олійною на рівень забур'яненості таких сільськогосподарських культур (на дату до застосування гербіцидів), 2020–2024 рр.

Варіант	Одиниці обліку	Культури після біофумігації				
		2020 р.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.
		Соняшник	Соя	Нут	Кукурудза	Соя
Контроль	шт./м ²	27,2	21,5	29,3	28,8	22,7
	г/м ²	424,9	275,4	494,2	421,7	389,7
Біофумігація	шт./м ²	16,4	12,2	14,6	18,5	14,5
	г/м ²	291,7	224,8	261,4	277,9	281,3
НІР _{0,5} шт./м ²		2,7	4,5	4,1	3,2	3,5
НІР _{0,5} г/м ²		33,5	37,7	37,5	48,7	35,9
Контроль						
Ярі ранні	шт./м ²	3,3	1,8	1,7	3,1	1,2
	г/м ²	67,8	31,7	43,9	60,7	29,7
Ярі пізні	шт./м ²	17,8	14,6	21,3	15,9	13,8
	г/м ²	223,9	94,5	293,9	209,6	205,8
Зимуючі	шт./м ²	1,5	1,7	2,1	2,9	1,4
	г/м ²	25,9	30,3	46,2	34,7	22,5
Багаторічні	шт./м ²	4,6	3,4	5,2	6,9	6,3
	г/м ²	107,3	68,3	110,2	116,7	131,7
НІР _{0,5} шт./м ²		2,7	1,8	3,0	4,2	2,7
НІР _{0,5} г/м ²		32,5	22,4	39,2	42,3	37,2
Біофумігація						
Ярі ранні	шт./м ²	1,9	0,7	1,0	1,2	0,8
	г/м ²	48,7	28,4	30,5	24,8	20,7

Продовження таблиці 4

Варіант	Одиниці обліку	Культури після біофумігації				
		2020 р.	2021 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.
		Соняшник	Соя	Нут	Кукурудза	Соя
Ярі пізні	шт./м ²	11,3	8,3	9,5	10,3	9,8
	г/м ²	155,4	116,1	123,8	121,4	159,2
Зимуючі	шт./м ²	0,5	1,1	0,9	2,5	0,8
	г/м ²	16,9	35,6	24,4	40,7	17,4
Багаторічні	шт./м ²	2,8	2,1	3,2	4,5	3,1
	г/м ²	70,7	54,7	82,7	91,0	84,0
НІР ₀₅ , шт./м ²		3,5	2,4	2,9	3,2	3,1
НІР ₀₅ , г/м ²		41,9	27,1	35,8	40,8	44,9

Таблиця 5

Потенційна засміченість ґрунту на початку вегетаційного періоду за використання сидеральної маси редьки олійної як біофумігаційного компонента, середнє за 2020–2024 рр., млн шт./га

Варіант	Шар ґрунту, см									
	0–5		5–10		10–20		20–30		0–30	
	млн шт./га	% до всього	млн шт./га	% до всього	млн шт./га	% до всього	млн шт./га	% до всього	усього, млн шт./га	
Без сидерата (контроль)	19,3	16,5	20,2	17,3	37,3	31,9	40,1	34,3	116,9	
Біофумігація	11,2	11,6	15,8	16,3	33,5	34,6	36,2	37,4	96,7	
НІР ₀₅	0,3	–	0,4	–	1,1	–	1,4	–	1,2	

Таблиця 6

Вплив біофумігації редькою олійною на мікрофлору сірого лісового ґрунту (середнє за 2020–2024 рр. для шару 0–30 см), млн куо/г абс. сух. ґрунту

Варіант дослідю	Загальна кількість мікроорганізмів (ПГА)	Бактерії, що використовують мін. азот (КАА)	Амоніфікатори (МПА)	Оліготрофи (ГА)	Фосформобілізуючі (середовище Муромцева)	Актиноміцети (КАА)	Гриби, тис. куо/г
Контроль	2,7	5,6	2,2	1,8	1,9	0,4	94,4
Біофумігація	4,0	6,9	3,4	1,0	4,8	1,0	71,3
НІР ₀₅	1,1	0,5	1,1	0,4	1,7	0,5	11,8

Підтверджено також високий позитивний ефект застосування біофумігації ґрунту за використання сидеральної маси редьки олійної за літнього строку сівби й на показник потенційної засміченості ґрунту на початок вегетаційного періоду (табл. 5).

Використання редьки олійної як сидерального компонента біофумігації забезпечило в середньому за п'ятирічний цикл досліджень зниження потенційної засміченості ґрунту в шарі 0–30 см на 17,28% порівняно з контролем. Максимальний ефект зни-

ження відмічено для глибини ґрунтового профілю 0–5 см – 41,97%.

Встановлено позитивний вплив біофумігації на структуру мікрофлори ґрунту (табл. 6). Так, загальна кількість мікроорганізмів зросла на 18,51%, за зростання амоніфікаторів на 27,27%, фосформобілізуючих бактерій – на 10,53%, актиноміцетів – в 1,5 раза.

За цих же умов виявлено зниження кількості оліготрофів на 22,23% та кількості грибів на 13,56%. Отже, завдяки біофумігації досягнуто істотне поліпшення співвідношення між корисною та інертною мікрофлорою ґрунту.

У результуючому підсумку змінено на більш позитивний загальний скринінг мікробіологічного ґрунтового потенціалу з позиції обмеження сапрофітної і паразитарної мікрофлори та формування передумов для оптимізації процесів рослинної іммобілізації сполук азоту, фосфору та калію, формування позитивного балансу між динамічними процесами нітрифікації та амоніфікації, рециклінгу в доступності макро- та мікроелементів у ґрунтовому профілі (особливо в товщі 0–30 см). Водночас обмеженість розвитку сапрофітної мікрофлори сприяє загальному оздоровленню ґрунту з позиції наявності в ньому резервуючих форм патогенної мікрофлори.

Обговорення

З огляду на те, що біофумігаційний потенціал відповідних видів рослин залежить передусім від їхнього біопродуктивного потенціалу, який формується у процесі вегетативного розвитку (Zachariah, 2011; Yan et al., 2013), редька олійна з рівнем загальної біопродуктивності в сухій речовині на рівні 3,83 т/га засвідчила високий потенціал щодо її використання в системі біофумігаційних технологій проміжного (літнього) типу формування.

З позиції оцінювання досягнутого рівня виходу надземної та кореневої біомаси варто зауважити, що в дослідженні (Bhagal et al., 2019) технологічний інтервал урожайності біомаси редьки олійної коливався від 15 до 45 т/га залежно від ґрунтово-кліматичних умов. Згідно з дослідженням (Souèdel et al., 2018), редьку олійну класифікують як високоврожайну покривну культуру для умов достатнього зволоження. Низка дослідників відзначають її достатній рівень адаптивності для вирощування за різними проміжними технологічними схемами з різними строками сівби, аж до 15 серпня, із середнім рівнем біопродуктивності вище

за 15 т/га (Abdallah et al., 2020; Duff et al., 2020; Campbell et al., 2024; Batistić et al., 2025). Для умов нестійкого зволоження врожайність надземної біомаси таких культур, як гірчиця біла, ріпак ярий, редька кормова (var. Tillage), редька просапна (редька дайкон), була в межах 12–27 т/га. Для озимого ріпаку (за використання його біомаси в ранньолітній період) урожайність надземної біомаси становила 25–60 т/га. Утворення підземної (кореневої) біомаси для цієї ж групи культур становило 5–15 та 12–25 т/га відповідно. З огляду на ці результати, для умов нестійкого зволоження на неудолюбному фоні редька олійна є ефективним елементом біофумігаційних технологій за використання найбільш поширених у даних технологіях хрестоцвітих видів рослин.

Стосовно глюкозинолатного потенціалу редьки олійної, за вказаним показником дана культура продемонструвала високий потенціал з позиції хімічного складника біофумігаційних перетворень рослинної біомаси у ґрунтовому профілі. Зокрема, у різних дослідженнях редьки олійної на стадії цвітіння рівень глюкозинолатів коливався в межах 9–41 мкмоль/г сухої речовини і був в 1,2–1,5 раза вищим у суцвіттях порівняно з листям і стеблом (Gimsing & Kirkegaard, 2006; Duff et al., 2020). Для гірчиці білої середній вміст глюкозинолатів (у середньому на рослину) для фази цвітіння був у межах 11–56 мкмоль/г – 1DM (Kirkegaard & Sarwar, 1999; Lefebvre, 2018; Perniola et al., 2019). Для ярого ріпаку вміст GSL становив 9–44 мкмоль/г сухої речовини (Potgieter et al., 2013; Galaup, 2018; Patil et al., 2020). Для озимого ріпаку цей показник був на рівні 8–51 мкмоль/г сухої речовини (Kirkegaard & Sarwar, 1999; Santos et al., 2021). Із цих позицій листостеблова та коренева біомаса редьки олійної має деякі переваги щодо таких традиційних культур, які широко практикуються в міжнародній практиці, як гірчиця біла та ярий ріпак.

У світовій практиці сегетально регулюючий ефект від застосування біофумігації має бінарний складник, зумовлений як безпосереднім ефектом впливу на чисельність і рясність бур'янів у системі їх провокації до проростання у варіантах саме літньої сидерації (Bajagain et al., 2024), так і безпосереднім пригніченням бур'янів на стадії проростання або ж у процесі інціальних стадій росту через аелопатичну конкуренцію та безпосередньо внаслідок цього термінацію наступних стадій фенорозвитку (Ahmed et

al., 2022; Tsytsiura, 2024a). Установлено, що ефект гербоконкуренції сидератів має виражений видовий характер і залежить також від строку сидерації, продуктивності сформованої надземної та кореневої біомаси, фенологічних аспектів сидераційного використання рослин, типу та рівня забур'яненості поля до сидерації (Tsytsiura, 2024b). Що стосується специфікації антисегетальної ефективності хрестоцвітих видів рослин, то найбільш ефективним було їх використання для обмеження чисельності ярої групи бур'янів (Rana et al., 2014; Lefebvre, 2018) за інтервального значення зниження на рівні від 17,5 до 63,7% для актуального типу забур'яненості та на рівні від 20,7 до 55,4% для потенційного її типу, залежно від ґрунтово-кліматичної зони, строків і видів біофумігації сидерального типу, видів агроценозів відповідних сільськогосподарських культур. Отримані результати в даних дослідженнях позитивно співвідносяться із вказаними результатами та додатково доводять ефективність біофумігації за однокомпонентної участі редьки олійної в системі ґрунтової біофумігації сидерального типу.

За останній період підтверджено в різних дослідженнях позитивну дію біофумігації за використання таких культур, як гірчиця біла та ріпак ярий (озимий), на зміну структури мікробіологічного комплексу ґрунтів (Barillot et al., 2013; Potgieter et al., 2013; Hanschen et al., 2015; Yim et al., 2016; Walker et al., 2022). Зокрема, зазначено позитивний ріст корисної мікрофлори симбіотичного (загальний приріст у структурі до 5,3–7,9%), азот-трансформувального (приріст на рівні 5–8%) та фосфор-мобілізуючого типу (приріст на рівні 8,3–12,7%) за використання технологій біофумігації хрестоцвітими видами рослин сидератів. З огляду на зміни у структурі мікробіологічного комплексу сірих лісових ґрунтів за умови застосування біофумігаційних варіантів технологій на основі однокомпонентного застосування редьки олійної, вони позитивно корелюють з подібними дослідженнями інших авторів на традицій-

них культурах хрестоцвітої групи, гірчиці білій і ріпаках. Такі результати додаткового доводять позитивний вплив застосування редьки олійної на мікробіологічне портфоліо ґрунтів з позиції його оптимізації. Такий варіант з успіхом може бути використаний для систем реабілітації ґрунтів, особливо з позиції негативного впливу за істотного зниження позитивної мікрофлори та розвитку її патогенної та сапрофітної часток.

Висновки

З огляду на представлені результати та зроблені проміжні висновки, редька олійна за досяжного середньобагаторічного біопотенціалу на рівні 3,8 т/га сухої речовини на сірих лісових ґрунтах в умовах нестійкого зволоження є самодостатнім кандидатом для застосування в біофумігаційних технологіях сидераційного спрямування. Дане твердження позитивно узгоджується із загальним глюкозинолатним потенціалом рослинної та кореневої біомаси редьки олійної в середньобагаторічному вимірі на рівні 72,76 моль/га, що відповідає рекомендованому інтервалу застосування хрестоцвітих видів рослин для біофумігації в інтервалі від 30 до 105 моль/га. Доведено також антисегетальний складник біофумігації на основі редьки олійної за загального сіквесту (усереднено для всіх видових груп бур'янів) кількісної забур'яненості на рівні вище за 41%, вагової – на рівні вище за 35%, потенційної – на рівні вище за 17% (для шару ґрунту 0–30 см).

Установлено якісні позитивні зміни структури ґрунтового мікробіологічного комплексу: ріст мікробіологічного загального потенціалу до 15–20%, зокрема: амоніфікаторів – до 27%, фосформобілізуючих мікроорганізмів – до 11%, актиноміцетів – на рівні 50%.

Отже, редька олійна з успіхом може бути застосована для реалізації базових і похідних агротехнологічних завдань технологій біофумігації на сірих лісових ґрунтах на неударному фоні за умов нестійкого режиму зволоження.

Список використаної літератури

- Abdallah I., Yehia R., Kandil M.Ah. Biofumigation potential of Indian mustard (*Brassica juncea*) to manage *Rhizoctonia solani*. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 2020. Vol. 30. P. 99. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00297-y>.
- Ahmed A.K.N., Galaup B., Desplanques J., Dechamp-Guillaume G., Seassau C. Ecosystem Services Provided by Cover Crops and Biofumigation in Sunflower Cultivation. *Agronomy*. 2022. Vol. 12. P. 120. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010120>.
- Bajagain A., Lehnhoff E.A., Creamer R., Steiner R., Schutte B.J. Timing Termination of a Biofumigant Cover Crop for Weed Suppression in Chile Pepper. *HortTechnology* 2024. Vol. 34. P. 142–152. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH05318-23>.

Barillot C.D.C., Sarde C.O., Bert V., Tarnaud E., Cochet N. A standardized method for the sampling of rhizosphere and rhizoplan soil bacteria associated to a herbaceous root system. *Annals of Microbiology*. 2013. Vol. 63. P. 471–476. <https://doi.org/10.1007/s13213-012-0491-y>.

Batistič L., Bohinc T., Trdan S. Biofumigation with Brassica Species and Their Derivatives: A Comprehensive Review of an Innovative Pest Control Strategy Targeting Wireworms (Coleoptera: Elateridae). *Agronomy*. 2025. Vol. 15. № 4. P. 967. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040967>.

Bhogal A., White C., Morris N. Project Report № 620 Maxi Cover Crop: Maximising the benefits from cover crops through species selection and crop management. *AHDB Cereals & Oilseeds is a part of the Agriculture and Horticulture Development Board (AHDB)*. 2019. 69 p.

Bublitz T.A., Kemper R., Müller P., Kautz T., Döring T.F., Athmann M. Relating Profile Wall Root-Length Density Estimates to Monolith Root-Length Density Measurements of Cover Crops. *Agronomy*. 2022. Vol. 12. P. 48. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010048>

Campbell J.W., Rand T.A., West N.M., Morphew A., Allen B.L., Jabro J., Dangi S.R. Pollinators and Other Beneficial Insects Within Two Brassicaceous Oilseeds and a Cover Crop Mix Under Evaluation as Fallow Surrogates for Dryland Production Systems of the Northern Great Plains. *Journal of the Kansas Entomological Society*. 2024. Vol. 96. P. 78–92. <https://doi.org/10.2317/0022-8567-96.3.78>.

Couëdel A., Alletto L., Tribouillois H., Justes E. Cover crop crucifer-legume mixtures provide effective nitrate catch crop and nitrogen green manure ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2018. Vol. 254. P. 50–59.

Duff J., van Sprang C., O'Halloran J., Hall Z. Guide to Brassica Biofumigant Cover Crops Managing soilborne diseases in vegetable production systems. Horticulture Innovation through VG16068 Optimising cover cropping for the Australian vegetable industry. State of Queensland. Department of Agriculture and Fisheries, 2020. 40 p.

Edwards S., Ploeg A. Evaluation of 31 potential biofumigant brassicaceous plants as hosts for three meloidogyne species. *Journal of Nematology*. 2014. Vol. 46. № 3. P. 287–295.

Galaup B. Assessment of the potential of biotic regulation by Brassica cover-crops used as biofumigants. Case of *Verticillium dahliae* affecting Sunflower crop in southwestern France. Mster Thesis. Norwegian University of Life Science, 2018. 42 p.

Gimsing A.L., Kirkegaard J.A. Glucosinolate and isothiocyanate concentration in soil following incorporation of Brassica biofumigants. *Soil Biology and Biochemistry*. 2006. Vol. 38. P. 2255–2264. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.01.024>.

Gimsing A.L., Kirkegaard J.A. Glucosinolates and biofumigation: fate of glucosinolates and their hydrolysis products in soil. *Phytochemistry Reviews*. 2009. Vol. 8. P. 299–310. <https://doi.org/10.1007/s11101-008-9105-5>.

Hanschen F.S., Yim B., Winkelmann T., Smalla K., Schreiner M. Degradation of biofumigant isothiocyanates and allyl glucosinolate in soil and their effects on the microbial community composition. *PloS one*. 2015. Vol. 10. P. e0132931. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132931>.

ISO 9167:2019. Rapeseed and rapeseed meals Determination of glucosinolates content Method using high-performance liquid chromatography. Technical Committee: ISO/TC 34/SC 2 ICS: 67.200.20. 2019. 28 p.

Kirkegaard J., Matthiessen, J. Developing and refining the biofumigation concept. *Agroindustria*. 2004. Vol. 3. P. 233–239.

Kirkegaard J.A., Sarwar M. Biofumigation potential of brassicas: I. Variation in glucosinolate profiles of diverse field-grown brassicas. *Plant and Soil*. 1998. Vol. 201. № 1. P. 71–89. <https://doi.org/10.1023/A:1004333230899>.

Kirkegaard J.A., Sarwar M. Glucosinolate profiles of Australian canola (*Brassica napus annua* L.) and Indian mustard (*Brassica juncea* L.) cultivars: implications for biofumigation. *Australian Journal of Agricultural Science*. 1999. Vol. 50. P. 315–324. <https://doi.org/10.1071/A98124>.

Lefebvre M. Impact of Brassica juncea L. biofumigation on annual weed ecology and population dynamic in organic soil. PhD Thesis. McGill University. Department of Plant Science. 2018. 182 p.

Patil J.A., Kumar A., Yadav S., Verma K.K. Nematicidal effect of cruciferous bio-fumigants against the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* infesting okra. *Journal of Nematology*. 2020. Vol. 52. P. 1–7. <https://doi.org/10.21307/jofnem-2020-080>.

Perniola O.S., Chorzempa S.E., Staltari S., Molina M. del C. Biofumigación con Brassica juncea: efecto sobre la flora arvense. *Revista De La Facultad De Agronomía*. 2019. Vol. 118. № 1. P. 25–35. <https://doi.org/10.24215/16699513e003>.

Potgieter C., De Beer M., Claassens S. The effect of canola (*Brassica napus*) as a biofumigant on soil microbial communities and plant vitality: a pot study. *South African Journal of Plant and Soil*. 2013. Vol. 30. № 4. P. 191–201. <https://doi.org/10.1080/02571862.2013.860491>.

Rana S.S., Kumar S. Practical Manual – Principles and practices of weed management. Department of Agronomy, College of Agriculture, CSK Himachal Pradesh Krishi Vishvavidyalaya, Palampur. 2014. 85 p.

Santos C.A. dos., Abboud A.C. de S., Carmo M.G.F. Biofumigation with species of the Brassicaceae family: a review. *Ciência Rural*. 2021. Vol. 51. № 1. P. e20200440. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr2020040>.

Sennett L., Burton D.L., Goyer C., Zebarth B.J. Influence of chemical fumigation and biofumigation on soil nitrogen cycling processes and nitrifier and denitrifier abundance. *Soil Biology and Biochemistry*. 2021. Vol. 162. P. 108421. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108421>.

Tsytsiura Y. Potential of oilseed radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) as a multi-service cover crop (MSCC). *Agronomy Research*. 2024a. Vol. 22. № 2. P. 1026–1070. <https://doi.org/10.15159/AR.24.086>.

Tsytsiura Y. Evaluation of Ecological Adaptability of Oilseed Radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) Biopotential Realization in the System of Criteria for Multi-Service Cover Crop. *Journal of Ecological Engineering*. 2024b. Vol. 25. Iss. 7. P. 265–285. <https://doi.org/10.12911/22998993/188603>.

Villalta O., Wite D., Riches D., Guiano J., Chandolu V., Scoble C., Donald C., Porter I., Mattner S. The Concentration of 2-Propenyl Glucosinolate in Biofumigant Crops Influences Their Anti-Fungal Activity (In-Vitro) against Soil-Borne Pathogens. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*. 2016. Vol. 5. P. 38–45 <https://doi.org/10.4236/jacen.2016.51B006>.

Walker B.A., Powell S.M., Tegg R.S., Doyle R.B., Hunt I.G., Wilson C.R. Soil microbial community dynamics during ryegrass green manuring and brassica biofumigation. *Applied Soil Ecology*. 2022. Vol. 179. P. 104600. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104600>.

Wong J. Handbook of statistical analysis and data mining applications. Cambridge : Academic Press, 2018. 589 p. <https://doi.org/10.1016/C2012-0-06451-4>.

Yan D., Wang Q., Mao L., Li W., Xie H., Guo M., Cao A. Quantification of the effects of various soil fumigation treatments on nitrogen mineralization and nitrification in laboratory incubation and field studies. *Chemosphere*. 2013. Vol. 90. P. 1210–1215. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.09.041>.

Yim B., Hanschen F.S., Wrede A., Nitt H., Schreiner M., Smalla K., Winkelmann T. Effects of biofumigation using Brassica juncea and Raphanus sativus in comparison to disinfection using Basamid on apple plant growth and soil microbial communities at three field sites with replant disease. *Plant and Soil*. 2016. Vol. 406. № 1/2. P. 389–408. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2876-3>.

Zachariah H. Potential of three brassica cover crops for biofumigation in the field and the relationship between soil myrosinase and biofumigation efficacy. PhD Thesis. Clemson University. Tiger Prints. 1248. 2011. 136 p.

References

Abdallah, I., Yehia, R., & Kandil, M.Ah. (2020). Biofumigation potential of Indian mustard (Brassica juncea) to manage *Rhizoctonia solani*. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 30, 99. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00297-y> [in English].

Ahmed, A.K.N., Galaup, B., Desplanques, J., Dechamp-Guillaume, G., & Seassau, C. (2022). Ecosystem Services Provided by Cover Crops and Biofumigation in Sunflower Cultivation. *Agronomy*, 12, 120. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010120> [in English].

Bajagain, A., Lehnhoff, E.A., Creamer, R., Steiner, R., & Schutte, B.J. (2024). Timing Termination of a Biofumigant Cover Crop for Weed Suppression in Chile Pepper. *Hort Technology*, 34, 142–152. <http://doi.org/10.21273/HORTTECH05318-23> [in English].

Barillot, C.D.C., Sarde, C.O., Bert, V., Tarnaud, E., & Cochet, N.A. (2013). standardized method for the sampling of rhizosphere and rhizoplan soil bacteria associated to a herbaceous root system. *Annals of Microbiology*, 63, 471–476. <https://doi.org/10.1007/s13213-012-0491-y> [in English].

Batistič, L., Bohinc, T., & Trdan S. (2025). Biofumigation with Brassica Species and Their Derivatives: A Comprehensive Review of an Innovative Pest Control Strategy Targeting Wireworms (Coleoptera: Elateridae). *Agronomy*, 15 (4), 967. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040967> [in English].

Bhagal, A., White, C., & Morris, N. (2019). Project Report № 620 Maxi Cover Crop: Maximising the benefits from cover crops through species selection and crop management. AHDB Cereals & Oilseeds is a part of the Agriculture and Horticulture Development Board (AHDB), 69 pp. [in English].

Bublitz, T.A., Kemper, R., Müller, P., Kautz, T., Döring, T.F., & Athmann, M. (2022). Relating Profile Wall Root-Length Density Estimates to Monolith Root-Length Density Measurements of Cover Crops. *Agronomy*, 12, 48. <http://doi.org/10.3390/agronomy12010048> [in English].

- Campbell, J.W., Rand, T.A., West, N.M., Morphey, A., Allen, B.L., Jabro, J., & Dangi, S.R. (2024). Pollinators and Other Beneficial Insects Within Two Brassicaceous Oilseeds and a Cover Crop Mix Under Evaluation as Fallow Surrogates for Dryland Production Systems of the Northern Great Plains. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 96, 78–92. <https://doi.org/10.2317/0022-8567-96.3.78> [in English].
- Couëdel, A., Alletto, L., Tribouillois, H., & Justes, E. (2018). Cover crop crucifer-legume mixtures provide effective nitrate catch crop and nitrogen green manure ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 254, 50–59. [in English].
- Duff, J., van Sprang, C., O'Halloran, J., & Hall, Z. (2020). Guide to Brassica Biofumigant Cover Crops Managing soilborne diseases in vegetable production systems. Horticulture Innovation through VG16068 Optimising cover cropping for the Australian vegetable industry. State of Queensland. Department of Agriculture and Fisheries, 40 p. [in English].
- Edwards, S., & Ploeg, A. (2014). Evaluation of 31 potential biofumigant brassicaceous plants as hosts for three meloidogyne species. *Journal of Nematology*, 46 (3), 287–295 [in English].
- Galaup, B. (2018). Assessment of the potential of biotic regulation by Brassica cover-crops used as biofumigants. Case of *Verticillium dahliae* affecting Sunflower crop in southwestern France. Mster Thesis. Norwegian University of Life Science, 42 pp. [in English].
- Gimsing, A.L., & Kirkegaard, J.A. (2006). Glucosinolate and isothiocyanate concentration in soil following incorporation of Brassica biofumigants. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 2255–2264. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.01.024> [in English].
- Gimsing, A.L., & Kirkegaard, J.A. (2009). Glucosinolates and biofumigation: fate of glucosinolates and their hydrolysis products in soil. *Phytochemistry Reviews*, 8, 299–310. <https://doi.org/10.1007/s11101-008-9105-5> [in English].
- Hanschen, F.S., Yim, B., Winkelmann, T., Smalla, K., & Schreiner, M. (2015). Degradation of biofumigant isothiocyanates and allyl glucosinolate in soil and their effects on the microbial community composition. *PLoS one*, 10, e0132931. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132931> [in English].
- ISO 9167:2019 (2019). Rapeseed and rapeseed meals Determination of glucosinolates content Method using high-performance liquid chromatography. Technical Committee: ISO/TC 34/SC 2 ICS: 67.200.20. 28 pp. [in English].
- Kirkegaard, J., & Matthiessen, J. (2004). Developing and refining the biofumigation concept. *Agroindustria*, 3, 233–239 [in English].
- Kirkegaard, J.A., & Sarwar, M. (1998). Biofumigation potential of brassicas: I. Variation in glucosinolate profiles of diverse field-grown brassicas. *Plant and Soil*, 201 (1), 71–89. <https://doi.org/10.1023/A:1004333230899> [in English].
- Kirkegaard, J.A., & Sarwar, M. (1999). Glucosinolate profiles of Australian canola (*Brassica napus annua* L.) and Indian mustard (*Brassica juncea* L.) cultivars: implications for biofumigation. *Australian Journal of Agricultural Science*, 50, 315–324. <https://doi.org/10.1071/A98124> [in English].
- Lefebvre, M. (2018). Impact of Brassica juncea L. biofumigation on annual weed ecology and population dynamic in organic soil. PhD Thesis. McGill University. Department of Plant Science, 182 pp. [in English].
- Patil, J.A., Kumar, A., Yadav, S., & Verma, K.K. (2020). Nematicidal effect of cruciferous biofumigants against the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* infesting okra. *Journal of Nematology*, 52, 1–7. <https://doi.org/10.21307/jofnem-2020-080> [in English].
- Perniola, O.S., Chorzempa, S.E., Staltari, S., & Molina, M. del C. (2019). Biofumigación con Brassica juncea: efecto sobre la flora arvense. *Revista De La Facultad De Agronomía*, 118 (1), 25–35. <https://doi.org/10.24215/16699513e003> [in English].
- Potgieter, C., De Beer, M., & Claassens, S. (2013). The effect of canola (*Brassica napus*) as a biofumigant on soil microbial communities and plant vitality: a pot study. *South African Journal of Plant and Soil*, 30 (4), 191–201, <https://doi.org/10.1080/02571862.2013.860491> [in English].
- Rana, S.S., & Kumar, S. (2014). Practical Manual – Principles and practices of weed management. Department of Agronomy, College of Agriculture, CSK Himachal Pradesh Krishi Vishvavidyalaya, Palampur, 85 pp. [in English].
- Santos, C.A. dos., Abboud, A.C. de S., & Carmo, M.G.F. (2021). Biofumigation with species of the Brassicaceae family: a review. *Ciência Rural*, 51 (1), e20200440. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr2020040> [in English].

Sennett, L., Burton, D.L., Goyer, C., & Zebarth, B.J. (2021). Influence of chemical fumigation and biofumigation on soil nitrogen cycling processes and nitrifier and denitrifier abundance. *Soil Biology and Biochemistry*, 162, 108421. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108421> [in English].

Tsytsiura, Y. (2024a). Potential of oilseed radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) as a multi-service cover crop (MSCC). *Agronomy Research*, 22 (2), 1026–1070. <https://doi.org/10.15159/AR.24.086> [in English].

Tsytsiura, Y. (2024b) Evaluation of Ecological Adaptability of Oilseed Radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) Biopotential Realization in the System of Criteria for Multi-Service Cover Crop. *Journal of Ecological Engineering*, 25 (7), 265–285. <https://doi.org/10.12911/22998993/188603> [in English].

Villalta, O., Wite, D., Riches, D., Guiano, J., Chandolu, V., Scoble, C., Donald, C., Porter, I., & Mattner, S. (2016). The Concentration of 2-Propenyl Glucosinolate in Biofumigant Crops Influences Their Anti-Fungal Activity (In-Vitro) against Soil-Borne Pathogens. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 5, 38–45 <https://doi.org/10.4236/jacen.2016.51B006> [in English].

Walker, B.A., Powell, S.M., Tegg, R.S., Doyle, R.B., Hunt, I.G., & Wilson, C.R. (2022). Soil microbial community dynamics during ryegrass green manuring and brassica biofumigation. *Applied Soil Ecology*, 179, 104600. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104600> [in English].

Wong, J. (2018). *Handbook of statistical analysis and data mining applications*. Cambridge, Academic Press, 589 pp. <http://doi.org/10.1016/C2012-0-06451-4> [in English].

Yan, D., Wang, Q., Mao, L., Li, W., Xie, H., Guo, M., & Cao, A. (2013). Quantification of the effects of various soil fumigation treatments on nitrogen mineralization and nitrification in laboratory incubation and field studies. *Chemosphere*, 90, 1210–1215. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.09.041> [in English].

Yim, B., Hanschen, F.S., Wrede, A., Nitt, H., Schreiner, M., Smalla, K., & Winkelmann, T. (2016). Effects of biofumigation using *Brassica juncea* and *Raphanus sativus* in comparison to disinfection using Basamid on apple plant growth and soil microbial communities at three field sites with replant disease. *Plant and Soil*, 406 (1/2), 389–408. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2876-3> [in English].

Zachariah, H. (2011). Potential of three brassica cover crops for biofumigation in the field and the relationship between soil myrosinase and biofumigation efficacy. PhD Thesis. Clemson University. Tiger Prints, 1248, 136 pp. [in English].

Отримано: 18.07.2025

Прийнято: 25.08.2025

Опубліковано: 17.10.2025





ЕКОЛОГІЯ

UDC 631.43:502.55(477)

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.32>

SOIL DEGRADATION IN THE CONTEXT OF ARMED CONFLICT: A CONCEPTUAL FRAMEWORK

V. M. Filatov¹, D. M. Rudenko², O. M. Krainiukov³

The large-scale military invasion of Ukraine has triggered an environmental crisis, dramatically intensifying pre-existing processes of soil degradation and introducing new threats to soil health, ecosystem function, and national food security. This review is highly relevant given the unprecedented scale of military disturbance, the diversity of affected landscapes, and the far-reaching impacts on agricultural production and ecological stability. The purpose of this work is to comprehensively synthesize current Ukrainian and international research on the impacts of military activities on soils, focusing on the mechanisms and feedbacks underlying war-related degradation. Methods include systematic literature analysis, integration of field and remote sensing data, and case study evaluation. The review analyzes four key dimensions of soil system change: physical disturbance (compaction, erosion, cratering), chemical contamination (heavy metals, explosives, oil products), biological decline (loss of microbial and plant diversity), and social disruption (land abandonment, reduced productivity, risks to livelihoods). The results show that warfare accelerates soil degradation through multiple interacting pathways, leading to cumulative impacts and the risk of ecological “regime shifts,” where soils lose resilience and recovery potential. Scientific novelty is provided by an integrated conceptual framework that explicitly connects physical, chemical, biological, and social feedbacks, drawing on both Ukrainian and international evidence. The practical significance lies in identifying major knowledge gaps and highlighting the urgent need for interdisciplinary, systems-based monitoring and adaptive management. The model and recommendations are applicable not only to Ukraine, but to all regions facing environmental impacts of armed conflict, and can inform evidence-based policy and restoration strategies.

Key words: soil health, ecosystem resilience, land degradation, military disturbance, chemical contamination, remote sensing, sustainable management, risk assessment.

¹ Postgraduate Student

(Education and Research Institute of Ecology, V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv)
e-mail: filatov@gmail.com

ORCID: 0009-0004-9102-7686

² Postgraduate Student

(National Scientific Center „Institute for Soil Science and Agrochemistry Research after O. N. Sokolovsky”, Kharkiv)

e-mail: d.n.rudenko@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8516-0094

³ Doctor of Geographical Sciences,

Professor at the Department of Environmental Safety and Environmental Education

(Education and Research Institute of Ecology, V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv)

e-mail: ecotox@karazin.ua

ORCID: 0000-0002-5264-3118

ДЕГРАДАЦІЯ ҐРУНТІВ У КОНТЕКСТІ ЗБРОЙНОГО КОНФЛІКТУ: КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ

В. М. Філатов, Д. М. Руденко, О. М. Крайнюков

Повномасштабне військове вторгнення в Україну спричинило екологічну кризу, різко посиливши вже існуючі процеси деградації ґрунтів і створивши нові загрози для ґрунтового здоров'я, функціонування екосистем і національної продовольчої безпеки. Актуальність цього огляду зумовлена безпрецедентним масштабом воєнного впливу, різноманітністю уражених ландшафтів і далекосяжними наслідками для аграрного виробництва й екологічної стабільності. Метою цієї роботи є комплексний синтез сучасних українських і міжнародних досліджень щодо впливу військової діяльності на ґрунти з акцентом на механізмах і зворотних зв'язках, що лежать в основі деградації, спричиненої війною. Методи включають систематичний аналіз літератури, інтеграцію польових і дистанційних даних та оцінку окремих кейсів. Огляд охоплює чотири ключові виміри змін ґрунтової системи: фізичні порушення (ущільнення, ерозія, утворення вирв), хімічне забруднення (важкі метали, вибухові речовини, нафтопродукти), біологічний занепад (втрата мікробного та рослинного різноманіття) та соціальні порушення (покидання земель, зниження продуктивності, ризики для добробуту населення). Результати свідчать, що війна пришвидшує деградацію ґрунтів через численні взаємопов'язані шляхи, що веде до кумулятивних впливів і ризику екологічних "зсувів режиму", коли ґрунти втрачають стійкість і потенціал до відновлення. Наукова новизна роботи полягає в інтегрованій концептуальній моделі, яка чітко поєднує фізичні, хімічні, біологічні та соціальні зворотні зв'язки, спираючись на український і міжнародний досвід. Практична значущість визначається виявленням основних прогалин у знаннях та наголошенням на нагальній потребі міждисциплінарного, системного моніторингу та адаптивного управління. Запропонована модель і рекомендації застосовні не лише для України, а й для усіх регіонів, які зазнають екологічних наслідків збройних конфліктів, і можуть слугувати основою для розробки політики та стратегій відновлення на основі доказів.

Ключові слова: ґрунтове здоров'я, стійкість екосистем, деградація земель, військовий вплив, хімічне забруднення, дистанційне зондування, сталий менеджмент, оцінка ризиків.

Introduction

The full-scale military invasion of Ukraine by the Russian Federation in February 2022 has unleashed an environmental crisis of unprecedented scale and complexity in the heart of Europe. While the humanitarian, economic, and infrastructural consequences are widely recognized, an equally urgent but less visible catastrophe is unfolding beneath our feet: the large-scale degradation of soils—the very foundation of Ukraine's natural wealth, food security, and ecological stability (Baliuk et al., 2017; Голубцов та ін., 2023). The consequences of this crisis are not limited to Ukraine alone, but threaten to destabilize global agricultural supply chains, impact food prices, and increase risks of transboundary environmental pollution throughout the wider region. The war highlights how armed conflict can create long-term soil degradation, with far-reaching implications for international food security and ecosystem resilience.

Soils are not only the primary medium for food and biomass production, but also irreplaceable regulators of ecosystem functions, water quality, carbon storage, and landscape resilience (Baliuk et al., 2017). Ukraine, home to a remarkable diversity of soil types and some

of the world's most fertile chernozems, has long been an agricultural powerhouse and a critical contributor to international grain markets. Yet, even before the war, soil degradation processes—erosion, compaction, chemical contamination, organic matter loss—posed major threats to sustainable land use and national food security (Baliuk et al., 2017). Already then, experts warned that the destruction of Ukraine's chernozems would endanger the nation's greatest natural treasure (Балюк і Кучер, 2022).

The ongoing military aggression has dramatically intensified and complicated these processes. Heavy machinery, explosions, fortification construction, mining, and fires have subjected millions of hectares to unprecedented physical, chemical, and biological stresses (Голубцов та ін., 2023). Contamination by heavy metals, explosive residues, oil products, and novel pollutants has been documented at alarming levels, threatening soil health, crop safety, and human well-being. In southern Ukraine, for example, recent assessments have revealed extremely high heavy metal concentrations, to the extent that some territories are considered unsafe for use without complete reclamation or even removal of the top-soil layer due to toxicity (Тонха та ін., 2025).

Direct mechanical damage is no less destructive. Investigations in Chkhalivska territorial community showed that prior to the war, local soils were predominantly high-quality chernozems, rich in organic carbon and with excellent fertility. However, spatial analysis and remote sensing during hostilities demonstrated severe damage: shelling, fires, craters, trenches, and compaction by military vehicles degraded nearly one-third of the most fertile soils of this community (Соловей та ін., 2023). Experimental studies further confirm that explosions redistribute soil fractions, increasing the proportion of silt and clay, while compaction from bomb craters and military roads significantly reduces porosity and hinders plant growth. Restorative measures such as deep tillage and agromelioration are thus urgently required to restore agricultural productivity (Пліско та ін., 2023).

Beyond localized destruction, the ecological consequences of warfare are systemic and catastrophic. Previous analyses of conflict in eastern Ukraine showed that military activity damages all components of the environment and severely restricts the state's ability to monitor and control ecological conditions in conflict zones (Лісова, 2017). This lack of oversight, coupled with the intensity of ongoing hostilities, greatly complicates both assessment and recovery.

Further evidence from Sumy region highlights the acute risks posed by contamination. Research revealed significant exceedances of background concentrations of lead, manganese, copper, zinc, cadmium, and nickel in soils exposed to active combat. In some cases, the concentrations of lead were 5.4 times higher than background levels, while manganese and copper exceeded them nearly five-fold. Exceedances of maximum permissible concentrations were also documented for several metals, underscoring the urgent need for monitoring, delineation, and remediation of polluted territories (Зайцев та ін., 2022).

Recent media and scientific reports vividly illustrate the transformation of Ukraine's agricultural landscapes under war conditions. Journalistic and field accounts describe pockmarked fields, widespread land abandonment, and a new reality for rural communities, whose livelihoods and food security are threatened by both direct war hazards and the persistent legacy of soil degradation (Укрінформ, 2022; Bonchkovskiy et al., 2023; Ma et al., 2022). High-resolution satellite imagery and time-series data have

revealed clear "hotspots" of cropland abandonment and vegetation loss, directly linking military activity to the collapse of agricultural management (Ma et al., 2022).

Despite ongoing efforts, the scope and mechanisms of soil degradation under modern military pressure remain underexplored and poorly understood (Голубцов та ін., 2023). Recent comprehensive studies and expert assessments emphasize the need for a holistic, integrative approach that considers not only physical and chemical changes, but also biological, social, and economic dimensions. As highlighted by Baliuk et al. (2017), Ukraine urgently requires a science-based, systemic strategy to protect, restore, and sustainably manage its soils—not only to safeguard food production, but to secure national resilience and global ecological stability. Addressing these challenges is essential not only for the immediate recovery of Ukraine, but also for ensuring the long-term stability and productivity of agroecosystems across Eastern Europe and beyond.

This review synthesizes current knowledge on the impacts of military activity on soils, drawing from both Ukrainian and international experience. We propose an integrated conceptual framework for understanding soil system degradation in war-affected landscapes, emphasizing the interactions among physical, chemical, biological, and social factors. In doing so, we aim to inform research, monitoring, policy, and practical intervention to support the recovery and long-term sustainability of Ukraine's land resources.

Material and methods

Analytical approach to the development of the conceptual framework. This review systematically analyzes published research on the impacts of military activities on soils in Ukraine and other countries, synthesizing findings from field, laboratory, modeling, and socio-ecological studies. International research has assessed physical effects—such as compaction, bulk density changes, and erosion—using soil sampling, penetrometry, and mapping (Pichtel, 2012; Krajnović & Smolek, 2024; Ricci et al., 2012). Chemical contamination has been evaluated by measuring heavy metals, petroleum hydrocarbons, and explosive residues with advanced analytical methods (Pichtel, 2012; Vasarevičius & Greičiūtė, 2004) while modeling approaches predict pollutant mobility and bioavailability (Johnson et al., 2011).

Biological and ecological impacts have been studied through assays of soil microbial com-

munities, enzymatic activity, and plant diversity, highlighting the effects of military stress on ecosystem resilience (Rodriguez-Seijo et al., 2024; Bulba et al., 2024). Remote sensing and GIS-based analyses enable mapping of large-scale changes such as crater formation and vegetation loss, especially where field access is restricted (Johnson et al., 2011; Ricci et al., 2012). Socio-ecological dimensions—including land abandonment and agricultural risks—are investigated through surveys, interviews, and risk indices (Akhundov, 2024; Petrushka et al., 2023).

Recent Ukrainian research has adapted these approaches to the realities of ongoing conflict. Rapid soil sampling and contamination assessment are conducted near frontlines (Trokhaniak, 2024), while national-scale mapping and inventories document degraded and contaminated lands (Baliuk et al., 2017; Голубцов та ін., 2023). Comparative studies examine impacts across land use types, and bibliometric analyses highlight key knowledge gaps (Greičiūtė et al., 2007). Collaborative assessments increasingly integrate fieldwork, stakeholder perspectives, and policy analysis (Petrushka et al., 2023).

To develop our integrated conceptual framework, we reviewed over 10 peer-reviewed articles, technical reports, and policy documents from Ukrainian and international sources. Findings were organized into four principal dimensions: physical, chemical, biological, and social. Case studies from Europe, the Middle East, and North America informed our analysis of mechanisms such as heavy metal accumulation, soil structure alteration, and biological decline, as well as context-specific drivers like munitions type and land management history. Key indicators were selected for each dimension based on prevalence in the literature and relevance to Ukraine—e.g., bulk density for physical disturbance, lead and TNT for chemical impacts, microbial biomass for biological effects, and land abandonment rates for social change. The conceptual diagram illustrating these relationships was designed and coded using the Mermaid Chart tool, which enabled a clear and flexible visualization of both direct impacts and system feedbacks. The diagram was refined through iterative expert review and supplemented by recent findings (Голубцов та ін., 2023).

This framework is primarily a synthesis of published knowledge rather than new experimental or modeling work. Empirical data remain limited, especially for long-term recov-

ery, cumulative effects, and effective remediation. We recommend expanded use of remote sensing and GIS, long-term soil health studies, and integration of molecular tools such as metagenomics. Greater involvement of local communities and open-access data sharing will further advance monitoring and restoration efforts.

Results

To address the need for a systems-level understanding of war-related soil degradation, we developed a conceptual model of soil system resilience and degradation under military impact (Figure 1). This model synthesizes Ukrainian and international research and captures the multidimensional and cascading effects of military disturbance on soil.

The framework centers on four domains: physical, chemical, biological, and social.

The physical domain covers processes such as compaction, erosion, and fragmentation, typically resulting from heavy machinery, explosions, and trenching; for example, repeated vehicle traffic and blast craters can irreversibly alter soil structure, decreasing porosity and long-term water infiltration.

The chemical domain encompasses both legacy and novel pollutants—including heavy metals (Pb, Zn, Cd), energetic compounds (TNT, RDX), petroleum hydrocarbons, and altered soil pH—reported in post-war soils from Ukraine and internationally. Persistent contaminants such as lead and explosive residues may accumulate in soil profiles, posing ongoing risks to crop safety and ecosystem health.

The biological domain reflects changes in soil microbial communities, reduced biodiversity, and the spread of invasive species, all of which impact nutrient cycling and plant productivity. Military-induced disturbance can lead to a loss of beneficial microbes, suppress soil enzymatic activity, and facilitate the dominance of stress-tolerant or invasive plant species.

The social domain addresses shifts in land use, such as abandonment, reduced agricultural productivity, and risks to food safety and community health. For instance, the displacement of rural populations and the presence of unexploded ordnance hinder land cultivation, contributing to decreased yields and long-term socio-economic disruption.

The model visualizes the main pathways of influence: for example, physical disturbance affects chemical mobility, chemical contamination drives biological decline, and land abandonment exacerbates degradation through

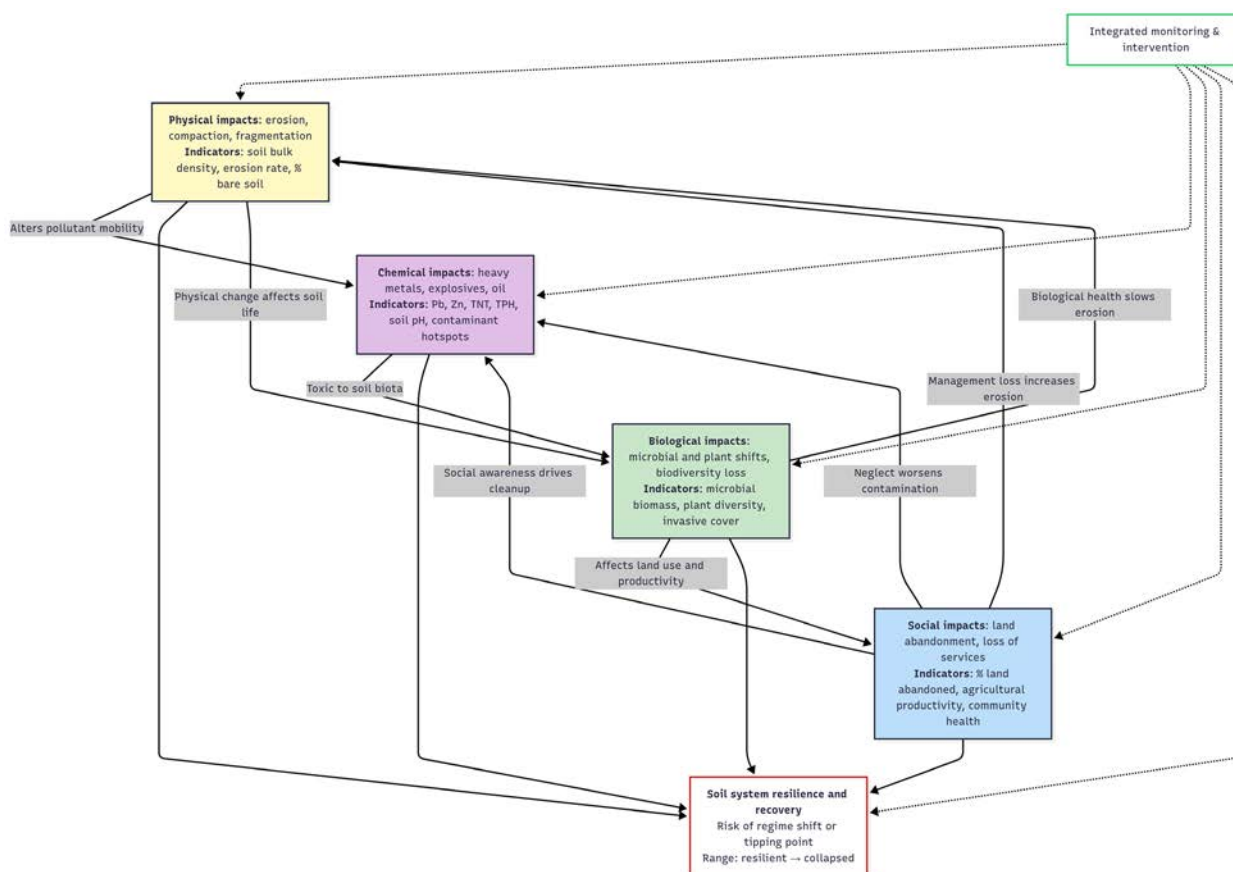


Fig. 1. Integrated conceptual model of soil system resilience and degradation under military impact

feedback loops. At its core is soil system resilience and recovery, representing the combined and interacting pressures from all domains, and highlighting the risk of regime shifts if critical thresholds are crossed. Integrated monitoring and intervention are positioned as cross-cutting requirements, as the literature shows that only coordinated, systems-based strategies can support effective soil recovery where feedbacks are strong.

Overall, the model synthesizes current knowledge and provides a practical framework for future research, monitoring, and intervention in war-affected landscapes—especially in Ukraine, where the scale and complexity of impacts require holistic, adaptive management.

Discussion

The integrated conceptual model presented in this review provides a framework for interpreting the multifaceted impacts of military activity on soil systems. By explicitly mapping the relationships and feedbacks between physical, chemical, biological, and social domains, the model moves beyond reduction-

ist approaches that have characterized much of the prior literature. In the context of the ongoing war, where the scale and diversity of disturbance types are unprecedented, such a systems-oriented perspective is essential. Evidence synthesized from both Ukrainian and international studies confirms that the degradation of soils under military influence is rarely attributable to a single mechanism. Physical disturbance, including compaction, erosion, and soil profile disruption, emerges consistently as an initial driver of change, often resulting from the movement of heavy machinery, fortification building, or explosive impacts. However, these physical processes are closely linked to chemical transformations. Numerous investigations have reported elevated concentrations of heavy metals, explosive residues, and petroleum hydrocarbons in war-affected soils, with physical alteration often enhancing the mobility and persistence of these contaminants (Pichtel, 2012; Vasarevičius & Greičiūtė, 2004). These findings are consistent with research from both Ukraine and other regions with histories of armed conflict, including

France, Lithuania, and Kuwait. The biological dimension, while sometimes underappreciated in initial assessments, is increasingly recognized as critical to both soil health and ecosystem recovery. Studies highlight declines in microbial biomass, shifts in community structure, and reduced plant diversity following military disturbance (Rodríguez-Seijo et al., 2024; Bulba et al., 2024). The disruption of biological processes can constrain natural attenuation of contaminants and reduce resilience, particularly when compounded by physical and chemical stressors. Importantly, the social context emerges as both a mediator and amplifier of soil degradation. Land abandonment and the breakdown of traditional management are recurrent outcomes in areas experiencing prolonged conflict. The literature suggests that the cessation of cultivation and erosion control often accelerates both physical and chemical degradation, while the loss of social capital limits the prospects for remediation and recovery (Baliuk et al., 2017; Petrushka et al., 2023). Conversely, community awareness and engagement—when present—can play a significant role in driving clean-up and restoration initiatives. A major insight arising from this model is the importance of feedbacks among system components. For instance, physical disturbance not only predisposes soils to further chemical contamination but may also trigger biological decline, setting in motion self-reinforcing cycles of degradation. Similarly, social disintegration can hinder both monitoring and intervention, permitting unchecked environmental decline. The risk of crossing ecological “tipping points”—such as the collapse of key soil functions or the establishment of persistent contaminant hotspots—is thus not theoretical, but grounded in empirical observations from war-affected landscapes. At the same time, several limitations of the current knowledge base should be acknowledged. The empirical literature remains fragmented, with relatively few longitudinal studies tracking soil system trajectories beyond the immediate aftermath of war. There is a need for integrated monitoring approaches that combine field surveys, laboratory analysis, remote sensing, and molecular techniques, and for open-access databases to facilitate cross-site comparisons. Furthermore, the social dimensions of soil recovery—particularly the roles of governance, policy, and local knowledge—require further investigation if sustainable restoration is to be achieved. In summary, the proposed frame-

work offers a lens through which to understand the complexity of soil degradation under military impact and provides a foundation for both future research and practical intervention. In the Ukrainian context, where war-related disturbances are ongoing and multi-scalar, such integrative approaches are urgently needed to guide monitoring, remediation, and the long-term protection of soil resources.

Conclusions

This review demonstrates that the degradation of soil systems under military activity is a complex, multidimensional process, shaped by interrelated physical, chemical, biological, and social factors. The integrated conceptual model developed here synthesizes current knowledge and highlights the pathways and feedbacks through which war-related disturbances affect soil health, function, and recovery potential.

Evidence from Ukraine and other war-affected regions underscores the urgency of adopting systems-based approaches to both research and intervention. The framework presented in this study makes clear that piecemeal or domain-specific strategies are insufficient in the face of feedbacks and cascading effects. Instead, coordinated monitoring and management—attentive to cross-domain interactions and the risk of regime shifts—is essential for safeguarding soil resilience and supporting post-conflict recovery.

The current state of research, while advancing, remains limited by a lack of long-term studies and integrative data. Addressing these gaps will require sustained interdisciplinary collaboration, expanded use of advanced monitoring technologies, and greater inclusion of local communities and stakeholders in both assessment and remediation efforts. Policymakers and land managers should prioritize the implementation of integrated soil monitoring systems and adaptive management practices, ensuring that remediation strategies are informed by both scientific evidence and local needs.

Ultimately, the conceptual model proposed here provides a foundation for future empirical research, practical monitoring, and the design of evidence-based policies aimed at the protection and restoration of soils in war-affected landscapes. In the context of Ukraine’s ongoing war, the development and application of such integrative approaches is not only scientifically justified, but urgently needed to secure the ecological and socio-economic functions of the country’s land resources.

Bibliography

- Akhundov R. The environmental consequences of military activity. *Res. Get.* 2024. May. [Electronic resource]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/380356613THE> (access date 30.06.2025).
- Baliuk S., Medvedev V., Vorotintseva L., Shymel V. Problems of degradation of soils and measures on reaching its neutral level. *Вісник аграрної науки.* 2017. Vol. 95, № 8. P. 5–11. <https://doi.org/10.31073/agrovnisnyk201708-01>.
- Bonchkovskyi O.L., Boychuk V.V., Kononenko I.M., Morozova N.M., Bilyk O.V., Klymenko R.I., Baranenko I.V. Remote sensing as a key tool for assessing war-induced damage to soil cover in Ukraine (the case study of Kyinska territorial hromada). *Ukrainian Journal of Remote Sensing.* 2023. Vol. 13, № 2. P. 40–49. <https://doi.org/10.34130/2313-0136.2023.13.2.40>.
- Bulba I., Drobitko A., Zadorozhnii Yu., Pismennyi O. Identification and monitoring of agricultural land contaminated by military operations. *Scientific Horizons.* 2024. Vol. 27, № 7. P. 107–117. <https://doi.org/10.48077/scihor7.2024.107>.
- Greičiūtė K., Juozulynas J.A., Šurkienė G., Valeikienė V. Research on soil disturbance and pollution with heavy metals in military grounds. *Geologija.* 2007. Vol. 57. P. 14–20. [Electronic resource]. URL: <https://shorturl.at/bMR6g> (access date 30.06.2025).
- Johnson S., Wang G., Howard H., Anderson A.B. Identification of superfluous roads in terms of sustainable military land carrying capacity and environment. *Journal of Terramechanics.* 2011. Vol. 48, № 2. P. 97–104. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2010.10.001>.
- Krajnović Z., Smolek A. Impact of Military Activities on the Environment. *Strategos.* 2024. Vol. 8, № 2. P. 89–124. [Electronic resource]. URL: <https://hrcak.srce.hr/324164> (access date 30.06.2025).
- Ma Z., Zhang Y., Liu J., Zhang X., Liu X., Zhao Y., Liu Y., Meng Q. Spatiotemporal analysis and war impact assessment of agricultural land in Ukraine using RS and GIS technology. *Land.* 2022. Vol. 11, № 10. Article 1810. [Electronic resource]. URL: <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/10/1810> (access date 30.06.2024).
- Petrushka K., Petrushka I., Yukhman Y. Assessment of the impact of military actions on the soil cover at the explosion site by the Nemerov method and the Pearson coefficient: Case study of the city of Lviv. *Journal of Ecological Engineering.* 2023. Vol. 24, № 10. P. 77–85. <https://doi.org/10.12911/22998993/170078>.
- Pichtel J. Distribution and fate of military explosives and propellants in soil: A review. *Applied and Environmental Soil Science.* 2012. Vol. 2012, Article ID 617236. <https://doi.org/10.1155/2012/617236>.
- Ricci M.E., Dain-Owens A.P., Anderson A.B., Howard H.R. Index of available research on military impacts. 2012. [Electronic resource]. URL: <https://shorturl.at/KTvo7> (access date 30.06.2024).
- Rodríguez-Seijo A., Fernández-Calviño D., Arias-Estévez M., Arenas-Lago D. Effects of military training, warfare and civilian ammunition debris on the soil organisms: An ecotoxicological review. *Biology and Fertility of Soils.* 2024. Vol. 60, № 6. P. 813–844. <https://doi.org/10.1007/s00374-024-01835-8>.
- Vasarevičius S., Greičiūtė K. Investigation of soil pollution with heavy metals in Lithuanian military grounds. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management.* 2004. Vol. 12, № 4. P. 132–137. [Electronic resource]. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/16486897.2004.9636834> (access date 30.06.2024).
- Trokhaniak O. Impact of military operations on agricultural soils. *Mechanization in agriculture & Conserving of the resources.* 2024. Vol. 68, № 1. P. 24–26. [Electronic resource]. URL: <https://stumejournals.com/journals/am/2024/1/24> (access date 30.06.2024).
- Балюк С. А., Кучер А. В. Національне багатство України – чорноземи – під загрозою знищення. *Голос України.* [Electronic resource]. URL: <http://www.golos.com.ua/article/366511> (access date 12.07.2025).
- Голубцов О. Г., Сорокіна Л. Ю., Сплодитель А. О., Чумаченко С. М. Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу. ГО «Центр екологічних ініціатив «Екодія». Київ, 2023. 32 с.
- Зайцев Ю. О., Грищенко О. М., Романова С. А., Зайцева І. О. Вплив бойових дій на вміст валових форм важких металів у ґрунтах Сумського та Охтирського р-нів Сумської обл. *Agroecological journal.* 2022. № 3. С. 136–149. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266419>.
- Ландшафти війни: нові «врожаї» на українських полях. Укрінформ. 2022 [Electronic resource]. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-ato/3503152-landsafti-vijni-novi-vrozai-na-ukrainskih-polah.html> (дата звернення 30.06.2025).

Лісова Н. О. Вплив військових дій в Україні на екологічний стан територій. *Конструктивна географія і геоecологія*. 2017. № 2. С. 165–173.

Пліско І. В., Романчук К. Ю., Криlach С. І. Механічна та фізична деградація орних ґрунтів унаслідок ведення воєнних дій в Україні. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 10. С. 5–12. <https://doi.org/10.31073/agrovishnyk202310-01>.

Соловей В. Б., Залавський Ю. В., Лебедь В. В., Солоха М. О., Кучер А. В. Методичні засади картографування наслідків мілітарної деградації ґрунтів на рівні територіальних громад. *Natural and geographical research*. 2024. № 4. С. 22–35. <https://doi.org/10.15407/ugz2024.04.022>.

Тонха О. А., Меньшов О. І., Літвінов Д. В., Бондар К. М., Глазунова О. Г., Літвінова О. А., Піковська О. В., Забалуєв В. О. Оцінка рівнів забруднення ґрунтів півдня України, пошкоджених воєнними діями. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2025. № 1. С. 30–38. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.108.04>.

References

Akhundov, R. (2024). The environmental consequences of military activity. *Res. Get* (May). [Electronic resource]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/380356613THE> (access date 30.06.2025) [in English].

Baliuk, S., Medvedev, V., Vorotintseva, L., & Shymel, V. (2017). Problems of degradation of soils and measures on reaching its neutral level. *Visnyk ahrarnoi nauky [Bulletin of agricultural science]*, 95(8), 5–11 <https://doi.org/10.31073/agrovishnyk201708-01> [in English].

Bonchkovskiy, O. L., Boychuk, V. V., Kononenko, I. M., Morozova, N. M., Bilyk, O. V., Klymenko, R. I., & Baranenko, I. V. (2023). Remote sensing as a key tool for assessing war-induced damage to soil cover in Ukraine (the case study of Kyivska territorial hromada). *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 13(2), 40–49. <https://doi.org/10.34130/2313-0136.2023.13.2.40> [in English].

Bulba, I., Drobitko, A., Zadorozhnyi, Yu., & Pismennyi, O. (2024). Identification and monitoring of agricultural land contaminated by military operations. *Scientific Horizons*, 27(7), 107–117. <https://doi.org/10.48077/scihor7.2024.107> [in English].

Greičiūtė, K., Juozulynas, J. A., Šurkienė, G., & Valeikienė, V. (2007). Research on soil disturbance and pollution with heavy metals in military grounds. *Geologija [Geology]*, 57, 14–20. <https://shorturl.at/bMR6g> (access date 30.06.2025) [in English].

Johnson, S., Wang, G., Howard, H., & Anderson, A. B. (2011). Identification of superfluous roads in terms of sustainable military land carrying capacity and environment. *Journal of Terramechanics*, 48(2), 97–104. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2010.10.001> [in English].

Krajnović, Z., & Smolek, A. (2024). Impact of Military Activities on the Environment. *Strategos*, 8 (2), 89–124. [Electronic resource]. URL: <https://hrcak.srce.hr/324164> (access date 30.06.2025) [in English].

Ma, Z., Zhang, Y., Liu, J., Zhang, X., Liu, X., Zhao, Y., Liu, Y., & Meng, Q. (2022). Spatiotemporal analysis and war impact assessment of agricultural land in Ukraine using RS and GIS technology. *Land*, 11(10), 1810. [Electronic resource]. URL: <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/10/1810> (access date 30.06.2024) [in English].

Petrushka, K., Petrushka, I., & Yukhman, Y. (2023). Assessment of the impact of military actions on the soil cover at the explosion site by the Nemerov method and the Pearson coefficient: Case study of the city of Lviv. *Journal of Ecological Engineering*, 24(10), 77–85. <https://doi.org/10.12911/22998993/170078> [in English].

Pichtel, J. (2012). Distribution and fate of military explosives and propellants in soil: A review. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012(1), 617236. <https://doi.org/10.1155/2012/617236> [in English].

Ricci, M. E., Dain-Owens, A. P., Anderson, A. B., & Howard, H. R. (2012). Index of available research on military impacts. [Electronic resource]. URL: <https://shorturl.at/KTvo7> (access date 30.06.2024) [in English].

Rodríguez-Seijo, A., Fernández-Calviño, D., Arias-Estévez, M., & Arenas-Lago, D. (2024). Effects of military training, warfare and civilian ammunition debris on the soil organisms: An ecotoxicological review. *Biology and Fertility of Soils*, 60(6), 813–844. <https://doi.org/10.1007/s00374-024-01835-8> [in English].

Vasarevičius, S., & Greičiūtė K. (2004). Investigation of soil pollution with heavy metals in Lithuanian military grounds. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 12(4), 132–137. [Electronic resource]. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/16486897.2004.9636834> [in English].

Trokhaniak, O. (2024). Impact of military operations on agricultural soils. *Mechanization in agriculture & Conserving of the resources*, 68(1), 24–26. [Electronic resource]. URL: <https://stumejournals.com/journals/am/2024/1/24> (access date 30.06.2024) [in English].

Baliuk, S. A., & Kucher A, V. (2022). Natsionalne bahatstvo Ukrainy – chernozemy – pid zahrozoiu znyshchennia [Ukraine’s national treasure – chernozems – under the threat of destruction]. *Holos Ukrainy [The voice of Ukraine]*. [Electronic resource]. URL: <http://www.golos.com.ua/article/366511> (access date 12.07.2025) [in Ukrainian].

Holubtsov, O. H., Sorokina, L. Yu., Splodytel A. O., & Chumachenko, S. M. (2023). Vplyv viiny rosii proty Ukrainy na stan ukrainskykh gruntiv. Rezultaty analizu [Impact of Russia’s war against Ukraine on the state of Ukrainian soils. Analysis results]. *HO „Tsentr ekolohichnykh iniciatyv «Ekodiia»» [NGO „Ecological initiatives center «Ecoaction»”]*. Kyiv, 32 p. [in Ukrainian].

Zaitsev, Yu. O., Hryshchenko, O. M., Romanova, S. A., & Zaitseva, I. O. (2022). Vplyv boiovykh dii na vmist valovykh form vazhkykh metaliv u gruntakh Sums'koho ta Okhtyr'skoho r-niv Sums'koi obl [The impact of military operations on the content of gross forms of heavy metals in the soils of Sumy and Okhtyrka districts of Sumy region]. *Agroecological journal*, 3, 138–149. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266419> [in Ukrainian].

Landshafty viiny: novi „vrozhai” na ukrainskykh poliakh [Landscapes of wine: new “wildflowers” in Ukrainian politics]. *Ukrinform* [Electronic resource]. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubricato/3503152-landsafti-vijni-novi-vrozai-na-ukrainskih-polah.html> (access date 30.06.2025) [in Ukrainian].

Lisova, N. O. (2017). Vplyv viiskovykh dii v Ukraini na ekolohichni stan terytorii [Impact of military operations in Ukraine on the ecological condition of territories]. *Konstruktivna heohrafiia i heoekolohiia [Constructive geography and geoecology]*, 2, 165–173 [in Ukrainian].

Plisko, I. V., Romanchuk, K. Yu., & Krylach, S. I. (2023). Mekhanichna ta fizychna dehradatsiia ornykh gruntiv unaslidok vedennia voiennykh dii v Ukraini [Mechanical and physical degradation of arable land as a result of military operations in Ukraine]. *Visnyk ahraryoi nauky [Bulletin of agricultural science]*, 10(847), 5–12. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202310-01>.

Solovei, V. B., Zalavskiy, Yu. V., Lebed, V. V., Solokha, M. O., & Kucher, A. V. (2024). Metodychni zasady kartohrafuvannia naslidkiv militarnoi dehradatsii gruntiv na rivni terytorialnykh hromad [Methodological principles for mapping the consequences of military soil degradation at the level of territorial communities]. *Natural and geographical research*, 4(128), 22–35. <https://doi.org/10.15407/ugz2024.04.022> [in Ukrainian].

Tonkha, O. L., Menshov, O. I., Litvinov, D. V., Bondar, K. M., Hlazunova, O. H., Litvinova, O. A., Pikovska, O. V., & Zabaluiiev, V. O. (2025). Otsinka rivniv zabrudnennia gruntiv pivdnia Ukrainy, poshkodzhennykh voiennyimi diiamy [Assessment of soil contamination levels in southern Ukraine damaged by military operations]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv]*, 1(108), 30–38. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.108.04> [in Ukrainian].

Отримано: 28.07.2025

Прийнято: 15.09.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 614.71:504.06:551.5

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.33>

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТА ЗАПОРІЖЖЯ ЗА НЕСПРИЯТЛИВИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ

К. В. Белоконь¹, І. М. Пірогова², М. С. Мальований³, Б. М. Комариста⁴

У статті розглянуто проблематику прогнозування та регулювання рівня забруднення повітря міста Запоріжжя під час несприятливих метеоумов (НМУ). Місто Запоріжжя має повний комплекс важкої металургії та перебуває в кліматичних умовах, для яких характерні НМУ розсіювання шкідливих речовин, що призводить до накопичування викидів підприємств у житлових районах. Натепер нагальною проблемою в місті є погіршення якості повітря. Рівень забруднення атмосферного повітря в період НМУ збільшується в рази і досягає пікових річних значень. У поєднанні зі спекотливим температурним режимом цей вплив завдає шкоди здоров'ю населення. Виявлено надзвичайно високий рівень впливу викидів промислових підприємств на органи дихання

¹ кандидат технічних наук, доцент,
заступник директора з наукової роботи
Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні,
доцент кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки за сумісництвом
(Запорізький національний університет, м. Запоріжжя)
e-mail: kv.belokon@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2000-4052

² заступник директора
Департаменту захисту довкілля Запорізької обласної державної адміністрації
(Запорізька обласна державна адміністрація, м. Запоріжжя)
e-mail: iryna.pirohova@gmail.com
ORCID: 0009-0007-3335-3063

³ доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри екології та збалансованого природокористування
Інституту сталого розвитку імені В'ячеслава Чорновола
(Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів)
e-mail: myroslav.mal@gmail.com
ORCID: 0000-0002-3868-1070

⁴ кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри штучного інтелекту
Навчально-наукового інституту прикладного системного аналізу
(Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського», м. Київ)
e-mail: angel2nika@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9542-6597

та зору, високий рівень індексів небезпеки щодо серцево-судинної та імунної систем. На середньому рівні знаходиться вплив на вроджені дефекти розвитку, центральну нервову систему, кров, паренхіматозні органи. Критичну роль у регулюванні викидів та організації контролю відіграє відсутність зворотного зв'язку з боку підприємств-забруднювачів – про конкретні вжиті заходи щодо скорочення викидів у період НМУ. Регулювання якості повітря в період НМУ здійснюється винятково в межах заходів, передбачених дозволами на викиди лише частини підприємств (45 підприємств), які ввійшли в перелік підприємств, що мають виконувати заходи щодо охорони атмосферного повітря за НМУ, згідно з Рішенням № 263 Запорізької міської ради. У місті відсутнє оперативне інформування та сповіщення населення про періоди високого рівня забруднення, рекомендації про попереджувальні та запобіжні дії. У роботі підтверджено необхідність приведення нормативно-правових актів КД 52.9.4.01-09 «Методичні вказівки щодо прогнозування метеорологічних умов формування рівнів забруднення повітря в містах України» та РД 52.04.52-85 Методичні вказівки «Регулювання викидів при несприятливих метеорологічних умовах» у відповідність до чинної дозвільної системи. Запропоновано можливі короткострокові та стратегічні управлінські рішення щодо прогнозування та регулювання забруднення атмосферного повітря міста Запоріжжя за НМУ.

Ключові слова: метеорологічні умови, атмосферне повітря, рівні забруднення, промислові викиди, розсіювання, концентрація, прогнозування, регулювання, дозвіл на викиди, моніторинг, промислові підприємства.

IMPROVING SYSTEMS FOR FORECASTING AND REGULATING ATMOSPHERIC AIR POLLUTION IN THE CITY OF ZAPORIZHZHIA UNDER UNFAVORABLE METEOROLOGICAL CONDITIONS

K. V. Bielokon, I. M. Pirohova, M. S. Malovanyi, B. M. Komarysta

The article examines the problem of forecasting and regulating air pollution levels in the city of Zaporizhzhia during unfavorable meteorological conditions (UMC). Zaporizhzhia, a city with a full range of heavy metallurgical industries, lies in climatic zones prone to UMC, which hinder the dispersion of harmful substances, leading to the accumulation of industrial emissions in residential areas. Currently, a pressing problem in the city is the deterioration of air quality. The level of atmospheric air pollution during UMC increases significantly and reaches peak annual values. In combination with the hot temperature regime, this impact harms the health of the population. An extreme impact of industrial emissions on the respiratory and visual organs has been identified, as well as a high level of hazard indices concerning the cardiovascular and immune systems. The impact on congenital developmental disorders, the central nervous system, blood, and parenchymal organs is at an average level. A critical role in regulating emissions and organizing control is played by the lack of feedback from polluting enterprises regarding specific measures taken to reduce emissions during UMC. Air quality regulation during periods of UMC is carried out exclusively within the framework of measures stipulated by emission permits for only a portion of enterprises (45 enterprises). These enterprises are included in the list required to implement atmospheric air protection measures during UMC, according to Decision No. 263 of the Zaporizhzhia City Council. In the city, there is no prompt system for informing the population about periods of high pollution levels, nor any recommendations regarding precautionary and preventive actions. The study confirms the necessity of aligning the regulatory legal acts KD 52.9.4.01-09 "Methodological Guidelines for Forecasting Meteorological Conditions for the Formation of Air Pollution Levels in Ukrainian Cities" and RD 52.04.52-85 Methodological Guidelines "Regulation of Emissions during Unfavorable Meteorological Conditions" with the existing permitting system. Possible short-term and strategic management solutions are proposed for forecasting and regulating atmospheric air pollution in the city of Zaporizhzhia during UMC.

Key words: meteorological conditions, atmospheric air, pollution levels, industrial emissions, dispersion, concentration, forecasting, regulation, emission permits, monitoring, industrial enterprises.

Вступ

В умовах великих промислових міст рівень забруднення атмосферного повітря залежить не тільки від кількості промислових і транспортних викидів, але й від їх вертикального та горизонтального розсіювання, яке в основному визначається метеорологічними умовами.

Місто Запоріжжя має повний комплекс важкої металургії, розташований на одному територіальному майданчику в центрі міста, до того ж перебуває в кліматичній ситуації, для якої характерні несприятливі метеорологічні умови (далі – НМУ) розсіювання шкідливих викидів (температурні інверсії,

штилі тощо), що призводить до накопичування викидів підприємств у житлових районах. На сайті Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України (УкрГМІ) (Український гідрометеорологічний інститут, 2025) є інформація, що метеорологічний потенціал забруднення атмосфери (МПЗА) у м. Запоріжжі вкрай несприятливий. У місті категорично не можна розмішувати жодного додаткового джерела забруднення – повітряний басейн просто не справляється з таким навантаженням (Савенець та ін., 2019).

Науково-прикладні дослідження, проведені за останнє десятиріччя, підтверджують необхідність невідкладних дій для запобігання катастрофічних наслідків для здоров'я мешканців промислових міст (Toronchenko et al., 2018), спричинених настанням періоду НМУ (Savenets et al., 2022).

Рівень забруднення атмосферного повітря в місті Запоріжжі, який протягом року стабільно перевищує навіть гранично допустимий вміст забруднювальних речовин, у період НМУ збільшується в рази і досягає пікових річних значень. У поєднанні зі спекотливим температурним режимом цей вплив не лише завдає шкоди здоров'ю, але й для деякої частини містян становить пряму загрозу життю (Белоконь та ін., 2023).

Натепер нагальною проблемою у м. Запоріжжі є погіршення якості повітря, що може мати серйозні наслідки для здоров'я населення та стійкості навколишнього середовища. Найбільшими забруднювачами атмосферного повітря у м. Запоріжжі залишаються підприємства чорної та кольорової металургії, теплоенергетики, хімії, машинобудування, харчової промисловості, на які припадає приблизно 90% викидів усіх забруднювальних речовин (Белоконь і Тулушев, 2020). Це такі підприємства, як: ПАТ «Запоріжсталь», ПрАТ «Дніпроспецсталь» (ДСС), АТ «Запорізький завод феросплавів» (ЗФЗ), ПрАТ «Український графіт», ПрАТ «Запорізький абразивний комбінат», ПрАТ «Запоріжжкокс», ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» (ЗТМК), ПрАТ «Запоріжжвогнетрив», ПрАТ «Запорізький завод зварювальних флюсів та скловиробів», АТ «Мотор Січ», ТОВ «Запорізький ливарно-механічний завод» (ЗЛМЗ) та інші. Розподіл балансу викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря м. Запоріжжя наведено на рис. 1.

Моніторинг за станом атмосферного повітря проводиться Державною установою «Запорізький обласний центр контролю та

профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України» (ДУ «Запорізький ОЦКПХ МОЗ України») та Запорізьким обласним центром з гідрометеорології (ЗЦГМ).

Згідно з даними, наданими Запорізьким обласним центром з гідрометеорології та ДУ «Запорізький ОЦКПХ МОЗ України», систематично фіксується вміст забруднювальних речовин в атмосферному повітрі, що в рази перевищують значення гранично-допустимих концентрацій. Впродовж 2024 року лабораторіями ДУ «Запорізький ОЦКПХ МОЗ України» відібрано 2956 проб атмосферного повітря, з них у 476 виявлені перевищення максимально разових концентрацій забруднювальних речовин, відсоток відхилення від нормативних показників – 16,1%. Найбільші перевищення гранично-допустимих концентрацій забруднювальних речовин визначалось у Заводському (70% від загальної кількості проб по району), Шевченківському (55,25%), Вознесенівському (28,8%), Дніпровському (21,7%), Олександрівському (25,9%), Комунарському (12,8%) районах м. Запоріжжя. Основний внесок від нормативних показників умісту забруднювальних речовин в атмосферне повітря становили: сірковуглець (35,7%), сірководень (22,3%), фенол (19%), формальдегід (10,3%) (Запорізька міська рада, 2025).

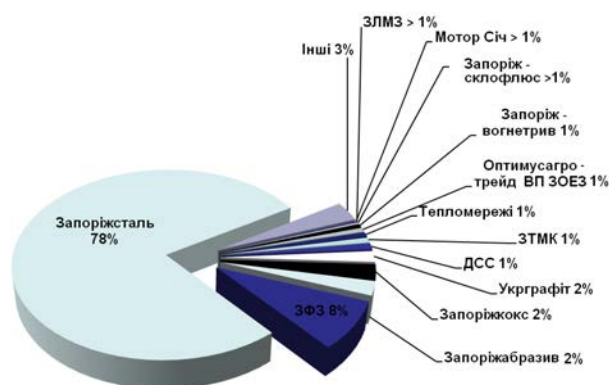


Рис. 1. Розподіл балансу викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря м. Запоріжжя

Над Запоріжжям часто спостерігається жовто-сиза димка смогу, що формується викидами промислових підприємств, сконцентрованих на відносно невеликій території. Цьому також сприяє рельєф місцевості, який являє собою хвилясту рівнину з ярусно-балочною мережею, яка погіршує провітрювання території та умови розсіювання пилогазових викидів.

Основні підприємства міста Запоріжжя розташовані на промисловому майданчику, який знаходиться в північно-східній частині міста. Таким чином, забруднення атмосферного повітря над основними районами міста відбувається за напрямків вітру від північно-західного через північ – до східного. За південного напрямку вітру забруднюється Заводський район, в якому, крім промислових підприємств, також багато житлових будинків та інфраструктурних споруд. Південно-західний та західний вітер сприяє виносу забрудненого повітря за місто. Вітер, швидкість якого 0–4 м/с, забруднює місто незалежно від напрямку.

Отже, в умовах великого промислового мегаполісу розв'язання питань щодо вивчення закономірностей формування навантажень атмосферних забруднень на людину та визначення впливу на здоров'я населення набуває великого значення під час обґрунтування профілактичних заходів (Савенець, 2023, Chugai et al., 2025).

Населення м. Запоріжжя протягом тривалого часу проживає в умовах, несприятливих для його здоров'я (Belokon et al., 2024). Рівень забруднення характеризувався як недопустимий, а ступінь забруднення – як небезпечний. Тобто стан здоров'я населення м. Запоріжжя формувався під довготривалим впливом суттєвого забруднення атмосферного повітря. У м. Запоріжжі немає району, де населення дихало б атмосферним повітрям, якість якого відповідає допустимому рівню.

У роботі (Белоконь та ін., 2023) виконано оцінювання ризику для здоров'я населення від викидів забруднювальних речовин промислових підприємств за хронічного впливу в трьох районах міста Запоріжжя: Заводському, Вознесенівському та Шевченківському. Результати розрахунків коефіцієнтів небезпеки свідчать про наявність перевищень безпечних рівнів ($HQ > 1$) та знаходяться: для формальдегіду та сірководню – на високому рівні; пилу, ангідриду сірчастого, діоксиду азоту, фенолу – на середньому рівні; оксиду вуглецю – на низькому рівні, сірковуглецю – на мінімальному рівні. Ризик для здоров'я експонованого населення є недопустимим майже по всій території міста Запоріжжя.

Результати розрахунків індексів небезпеки (рис. 2) свідчать про наявність перевищень безпечних рівнів впливу ($HI > 1$) для більшості пріоритетних забруднювальних речовин. Виявлено надзвичайно високий вплив на органи дихання ($HI > 24$) та зору ($HI > 9,2$),

високий рівень індексів небезпеки для серцево-судинної системи ($HI > 5,9$), додаткову смертність ($HI > 5,6$), імунну систему ($HI > 7,7$). На середньому рівні знаходиться вплив на вроджені дефекти розвитку ($HI > 4,7$), центральну нервову систему ($HI > 2,2$), кров ($HI > 2,3$), паренхіматозні органи ($HI > 1,3$).

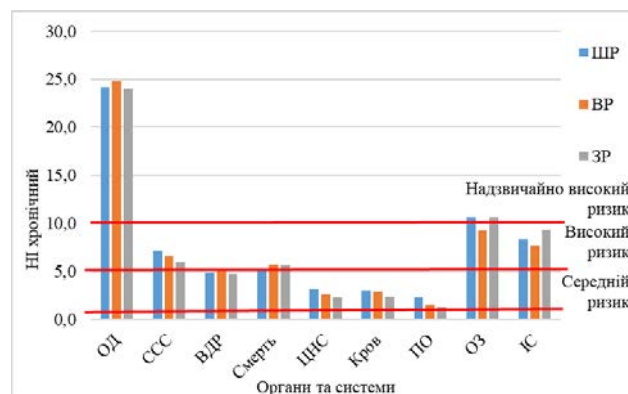


Рис. 2. Хронічні індекси небезпеки в досліджуваних районах міста Запоріжжя

Результати розрахунків сумарних індексів небезпеки під час оцінювання хронічних інгалаційних впливів викидів забруднювальних речовин від промислових підприємств знаходяться на надзвичайно високому рівні (масові скарги населення, виникнення хронічних захворювань): у Заводському районі: $HI = 26,190$; у Вознесенівському районі: $HI = 27,279$; в Шевченківському районі: $HI = 27,362$, Дніпровському районі: $HI = 20,824$.

Основними метеорологічними величинами, які в найбільшому ступені впливають на забруднення атмосферного повітря у м. Запоріжжя, є: напрям та швидкість вітру, температура повітря, синоптична ситуація та попереднє забруднення атмосферного повітря.

Для Запоріжжя характерні несприятливі умови розсіювання шкідливих викидів (температурні інверсії, штילи тощо), що призводить до накопичування викидів підприємств районах міста (Пірогова і Рильський, 2020). Автори робіт (Belokon et al., 2024, Matukhno et al., 2019) показали, що найбільші концентрації забруднювальних речовин спостерігаються в літній період року, особливо в серпні й на початку вересня, що пов'язане зі збільшенням частоти штилів.

Так, Запорізьким обласним центром з гідрометеорології зафіксовано у 2022 році – 23 перевищення максимально-разових ГДК забруднювальних речовин, у 2023 році – 40 перевищень, а протягом 8 місяців 2024 року – 62 перевищення відповідно.

ДУ «Запорізький ОЦКПХ МОЗ України» зафіксовано у 2022 році – 132 перевищення максимально-разових ГДК забруднювальних речовин, у 2023 році – 180 перевищень, протягом 8 місяців 2024 року – 73 перевищень відповідно (Запорізька обласна державна адміністрація, 2025).

При цьому кількість попереджень про НМУ, отриманих від Запорізького обласного центру з гідрометеорології, становить: у 2022 році – 132, у 2023 році – 203, протягом 8 місяців 2024 року – 45.

Слід наголосити, що в більшості випадків перевищення максимальних разових ГДК забруднювальних речовин в атмосферному повітрі зафіксовано в дні, коли попередження про НМУ не надавались.

За результатами опрацювання звернень громадян встановлено, що більшість звернень припадає на дні, коли в місті Запоріжжя фіксується переважно північний, північно-західний та північно-східний напрямки вітру, понижений тиск і підвищена вологість атмосферного повітря. Зазначені погодні умови не підпадають під критерії НМУ, однак ускладнюють розсіювання викидів забруднювальних речовин в атмосферному повітрі, що у свою чергу негативно впливає на здоров'я мешканців міста.

Таким чином, незважаючи на відсутність НМУ, в місті регулярно спостерігається смог та неприємний запах. Нині підприємства міста працюють відповідно до наявних дозвільних документів, оскільки попередження про НМУ відсутні, відсутні й підстави здійснювати заходи щодо скорочення викидів, які передбачені умовами розділу дозволу «Перелік заходів щодо скорочення викидів. Заходи щодо скорочення викидів за несприятливих метеорологічних умов». Але при цьому в ці дні спостерігаються перевищення ГДК забруднювальних речовин у повітрі.

Головною метою роботи є дослідження ефективності заходів з управління індустріальним містом Запоріжжя в періоди несприятливих метеорологічних умов, аналіз узгодженості дій установ, що здійснюють моніторинг якості повітря у м. Запоріжжі, а також удосконалення систем прогнозування та регулювання високого рівня забруднення атмосферного повітря міста Запоріжжя за несприятливих метеорологічних умов.

Матеріал та методи

Порядок та обов'язки організацій, що беруть участь у роботах з прогнозування

забруднення атмосфери, регулювання викидів за НМУ і контролю ефективності цих робіт, передбачені такими нормативними документами: Методичні вказівки «Регулювання викидів при несприятливих метеорологічних умовах» (РД 52.04.52-85), затверджених Держкомгідрометом 01.12.1986 (РД 52.04.52-85, 1986); Методичні вказівки щодо прогнозування метеорологічних умов формування рівнів забруднення повітря в містах України (КД 52.9.4.01-09), затверджені наказом Українського гідрометеорологічного центру від 13.08.2013 № 147, зі змінами (КД 52.9.4.01-09, 2013).

У місті Запоріжжі РД 52.04.52-85 поширюється на підрозділи:

– ЗЦГМ – складають і передають зацікавленим сторонам попередження про підвищення рівня забруднення повітря у зв'язку з очікуваними НМУ;

– ДУ «Запорізький ОЦКПХ МОЗ України» – здійснюють дослідження стану атмосферного повітря міста під факелом викидів підприємств у житловій забудові з урахуванням попереджень про підвищення рівня забруднення повітря у зв'язку з очікуваними НМУ;

– Державної екологічної інспекції Південного округу (Запорізька та Херсонська області) – здійснюють контроль за виконанням підприємствами та організаціями заходів щодо охорони атмосферного повітря за НМУ (у разі планових перевірок).

Прогнозування забруднення атмосферного повітря у м. Запоріжжі здійснюється відповідно до Методичних вказівок щодо прогнозування метеорологічних умов формування рівнів забруднення повітря в містах України (КД 52.9.4.01-09), «Методики короткострокового прогнозу забруднення атмосферного повітря в місті Запоріжжя», розробленої Українським гідрометеорологічним інститутом спеціально для м. Запоріжжя та затвердженої наказом Українського гідрометеорологічного центру від 18 січня 2021 року № НС-1/99, що введено в дію з 01 лютого 2021 року.

Згідно з вимогами ст. 11 Закону України «Про охорону атмосферного повітря» (Закон України, 1992), Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України (Міндовкілля) видає дозволи на викиди забруднювальних речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами об'єктів першої групи, а обласні державні адміністрації (у м. Запоріжжя – Департамент захисту довкілля Запорізької обласної державної

адміністрації (ЗОДА) – об'єктів другої та третьої групи, під час видачі яких здійснюється оцінювання впливу викидів забруднювальних речовин на стан забруднення атмосферного повітря за даними результатів розрахунків розсіювання забруднювальних речовин в атмосферному повітрі та даними, що одержані під час проведення інструментальних методів досліджень акредитованими лабораторіями в установленому законодавством порядку; на межі санітарно-захисної зони (СЗЗ); у сельбищній зоні; у зоні відпочинку, в тому числі ефективність запланованих у дозволі заходів щодо скорочення викидів за НМУ.

Відповідно до РД 52.04.52-85, розмір скорочення концентрації домішок у повітрі для підприємств установають та надалі уточнюють місцеві підрозділи Держкомгідромета (наразі ці функції виконують Міндовкілля та Департамент захисту довкілля облдержадміністрації). При цьому враховуються рівень фактичного забруднення повітря в місті, технологічні можливості виробництва, пилогазовловлювального обладнання, особливості метеорологічного режиму тощо.

Відповідно до РД 52.04.52-85, взаємодія зацікавлених сторін під час несприятливих метеорологічних умов здійснюється за заздалегідь розробленою схемою, затвердженою виконавчим комітетом міської ради.

Проблемою натепер є питання організації контролю за підприємствами з виконання заходів щодо скорочення викидів у період НМУ, сама методика підготовки попереджень про НМУ. Також критичну роль у регулюванні викидів та організації контролю відіграє відсутність зворотного зв'язку з боку підприємств-забруднювачів – про конкретні вжиті заходи в періоди НМУ.

Результати

Для розв'язання проблеми зниження рівня забруднення атмосфери під час НМУ у місті Запоріжжя діє система регуляції викидів шкідливих речовин, яка містить низку заходів, розроблених на найбільших підприємствах-забруднювачах. Перелік підприємств, на яких розроблені заходи з регуляції викидів шкідливих речовин під час НМУ, визначено рішенням Запорізької міської ради від 06.08.2021 р. № 263 «Про схему дій при несприятливих метеорологічних умовах» (Рішення № 263) (Про схему, 2021). Вказані заходи є невід'ємною частиною дозволу на викиди забруднювальних речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами і узгоджуються у встановле-

ному законодавством порядку. Зазначеним рішенням визначено схему взаємодії зацікавлених сторін під час НМУ, а також перелік 45 підприємств та організацій міста, які мають виконувати заходи щодо охорони атмосферного повітря за НМУ.

У період НМУ для розсіювання викидів та необхідності регулювання викидів ЗЦГМ складаються повідомлення про підвищення рівня забруднення повітря. Повідомлення передаються ЗЦГМ безпосередньо до виконавчих органів Запорізької міської ради. Управління з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту населення Запорізької міської ради передає отримані попередження про НМУ диспетчерським службам промислових підприємств, які передають їх далі в цехи і підрозділи для виконання запланованих заходів з поетапного зниження обсягів викидів згідно з умовами дозволів на викиди.

Повідомлення складаються з урахуванням можливого настання трьох рівнів забруднення атмосфери, яким відповідають три режими роботи підприємств у періоди НМУ. Основою для складання повідомлень є очікувані метеорологічні умови високого забруднення повітря (МУВЗ), яким відповідають певні рівні забруднення повітря. До компонентів оголошення МУВЗ відносяться: підведена інверсія вище за джерело, штільовий шар вище за джерело, тумани, напрям вітру, що визначає перенесення домішок з боку підприємств на житлові квартали, їх винесення на райони зі складним рельєфом або щільною забудовою, а також максимальне накладення викидів. Інформація про повідомлення високого рівня забруднення міститься на сайті Запорізької міської влади (Дослідження атмосферного повітря).

Для прогнозування забруднення атмосфери в місті Запоріжжя використовується статистичний метод, в основі якого лежать фактичні дані систематичних спостережень за забрудненням атмосферного повітря на стаціонарних постах протягом ряду (не менше трьох) років.

Метеорологічні умови забруднення повітря (МУЗ) дозволяють оцінити готовність атмосфери до процесу накопичування або розсіювання шкідливих домішок. Розрахунки МУЗ проводяться щоденно (365 прогнозів на рік).

Основою для складання попереджень для споживачів є МУВЗ, за яких можуть виникати відносно високі рівні забруднення повітря, що перевищують ГДК.

У разі відсутності інформації про фактичні концентрації домішок (у вихідні та святкові дні) підставою для складання штурмових попереджень I ступеня є очікувані МУВЗ. Так забезпечується щоденний випуск попереджень про високе забруднення повітря за наявності відповідних умов.

Такі попередження є підставою для здійснення заходів щодо тимчасового скорочення шкідливих викидів в атмосферу на підприємствах, які мають джерела забруднення повітря, а також контролю ефективності таких заходів.

Поточну схему реагування в період МУВЗ м. Запоріжжя наведено на рис. 3.



Рис. 3. Поточна схема реагування в період МУВЗ м. Запоріжжя

Схему прогнозування та регулювання викидів за НМУ в м. Запоріжжя наведено на рис. 4. Попередження про високе (аномальне) забруднення повітря передається: Управлінню з питань попередження НС та цивільного захисту населення Запорізької міської ради, Управлінню з питань екологічної безпеки Запорізької міської ради, ДУ «Запорізький ОЦКПХ МОЗ України», Запорізькому міському відділу ДУ «Запорізький ОЦКПХ МОЗ України», Департаменту захисту довкілля ЗОДА, Державній екологічній інспекції Південного округу.

Короткочасне зниження викидів під час НМУ є ефективним і порівняно недорогим заходом для покращення стану повітряного басейну. Для промислових підприємств прогнозування несприятливих метеорологічних умов складається за методом окремого джерела, який враховує індивідуальний вплив цього підприємства. Для міста Запоріжжя загалом визначається сукупність НМУ з урахуванням сумарного накладання викидів.

Заходів зі зниження забруднення під час НМУ в дозволах на викиди, які надходять

до ЗОДА, недостатньо, відсутня методологічна основа для їх розроблення.

У разі отримання повідомлення про настання НМУ підприємства впроваджують заходи зі зниження викидів конкретних забруднювальних речовин, що передбачені дозволами на викиди. Однак перелік заходів не погоджується з органами місцевого самоврядування, які згідно із законодавством України несуть відповідальність за стан навколишнього середовища на підпорядкованій території. Регулювання якості повітря в період НМУ здійснюється винятково в межах заходів, передбачених дозволами на викиди лише частини підприємств – 45 підприємств, які ввійшли в перелік підприємств, що мають виконувати заходи щодо охорони атмосферного повітря за НМУ, згідно з Рішенням № 263 (Пірогова і Рильський, 2020).

Окремий регламент здійснення моніторингу повітря та відстеження ефективності заходів під час НМУ відсутній. Також відсутнє оперативне інформування та сповіщення населення про періоди високого рівня забруднення, рекомендації про попереджувальні та запобіжні дії в такі періоди, що могло б суттєво знизити ризики для здоров'я людей у місті.

Обговорення

Для розв'язання цієї проблеми запропоновано можливі короткострокові управлінські рішення:

1. Внести зміни в рішення виконавчого комітету «Про схему дій при несприятливих метеорологічних умовах» від 06.08.2021 р. № 263 (Про схему, 2021) у частині зворотного зв'язку щодо вжиття та ефективності заходів – установити вимоги щодо обов'язковості виробничого контролю на межі СЗЗ підприємства, визначити формат звітування підприємств (перелік вжитих заходів, результати виробничого контролю на межі СЗЗ у періоди НМУ).

2. Рекомендувати надавати на звернення Департаменту захисту довкілля ЗОДА рекомендації та пропозиції до планованих заходів зниження викидів за НМУ, періодичності та порядку проведення виробничого контролю забруднювальних речовин у зоні впливу підприємства під час НМУ в рамках процедури отримання дозволу на викиди для включення їх в умови дозволу.

3. Здійснити заходи з організації своєчасного оповіщення населення шляхом розміщення відповідної інформації про настання НМУ на офіційних вебресурсах Запорізької

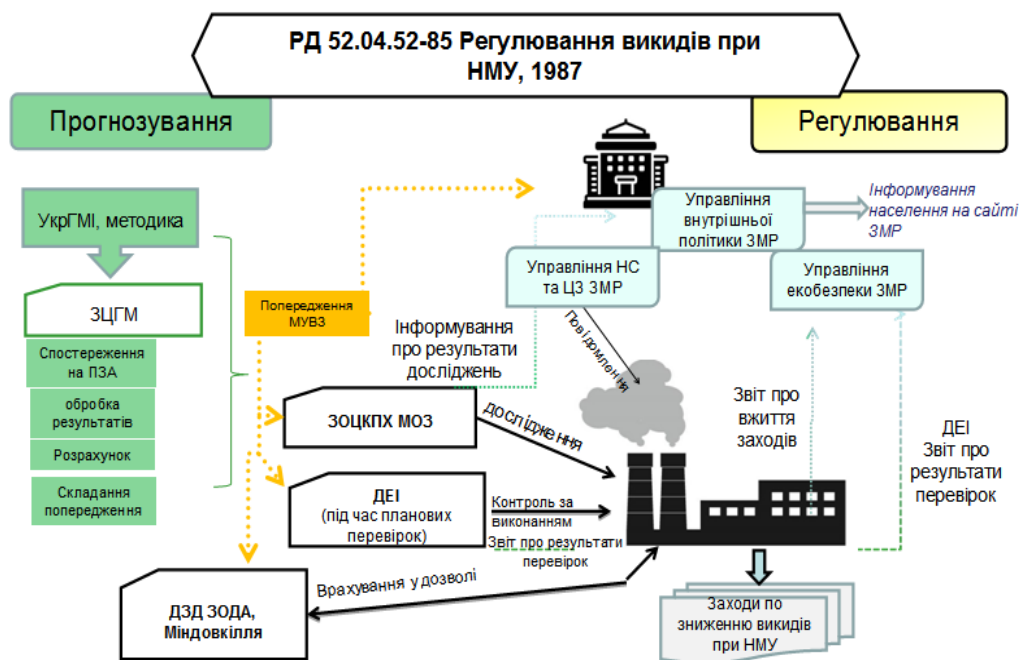


Рис. 4. Схема прогнозування та регулювання викидів за НМУ в м. Запоріжжя

міської ради, комунальних телеканалів та соціальних мережах. Розробити рекомендації для населення про необхідні заходи безпеки в разі настання НМУ, зокрема для уразливих категорій жителів міста (дітей, людей похилого віку та громадян із хронічними захворюваннями);

4. Зобов'язати підприємства міста (шляхом внесення відповідних змін до Рішення № 263) здійснювати виробничий контроль за обсягом і складом забруднювальних речовин на межі СЗЗ у періоди НМУ та вести їх постійний облік.

5. Підприємствам міста Запоріжжя провести аудит у частині дотримання обов'язкових умов упорядкування та озеленення СЗЗ відповідно до «Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів», затверджених наказом МОЗ України від 19.06.96 р. № 173 (Про затвердження, 1996).

Також пропонуємо можливі стратегічні управлінські рішення:

1. Опрацювати набір управлінських та адміністративних рішень щодо обмежень певних видів діяльності на території громади, розроблення відповідних регламентів здійснення моніторингу під час НМУ, порядку реагування, координації та комплексу дій міських служб. Залучити до розроблення управлінських рішень кваліфікованих фахівців з гідрометеорології та

антикризового (міського) управління, фахових та наукових установ для аналізу справдженості прогнозів.

2. Звернутися до УкрГМІ стосовно розроблення регламенту функціонування системи моніторингу в період НМУ (програми моніторингу повітря за НМУ) з визначенням точок та локацій досліджень, маркерних речовин, координації суб'єктів моніторингу, зокрема із залученням мобільної лабораторії моніторингу довкілля (МЛМД) у періоди НМУ.

3. Розробити заходи щодо скорочення та недопущення всіх викидів, не лише від великого промислового устаткування, але і від невеликих джерел транспортного, комунального та побутового походження, роботи малих котелень, особливо твердопаливних, спалення сміття, інших процесів горіння, у період НМУ, а також шляхом скорочення виробництва та ремонтних робіт на період НМУ.

4. Проводити аналіз виконання заходів зі зниження викидів із порівнянням рівня забруднення в період НМУ.

Запровадження додаткових заходів контролю має призвести до зменшення техногенного навантаження, але не в тій мірі, щоб забезпечити реальну безпеку для населення міста під час НМУ. Про достатню дієвість додаткових заходів під час НМУ можна говорити лише тоді, коли екологічна ситуація в місті Запоріжжі поза цим періодом знаходиться в допустимих межах, що наразі немож-

ливо досягти з огляду на моральне та технічне зношення металургійного комплексу. Задля безпеки громадського здоров'я під час НМУ потрібно втілення науково обґрунтованого комплексного підходу до управління містом, а не лише короткочасні зміни до ведення діяльності окремих підприємств.

Розв'язання питання ускладнюється тим, що заходи по I та II режиму не стосуються основного технологічного обладнання, яке і є основним вкладником у баланс забруднення. При цьому призупинка основного виробництва не має розглядатися під час планування заходів НМУ.

Для прогнозування ризиків та впливів від виникнення небезпечних ситуацій під час НМУ необхідно використання математичного моделювання та загалом сучасних підходів до прогнозування на засадах сталого розвитку (Ломазов та ін., 2024, Запорожець, 2017). Необхідно запроваджувати виважений антикризовий менеджмент, докорінно змінювати підходи до управління містом (рис. 5), яке перманентно знаходиться у кризовому стані, а не тільки в період НМУ (Ломазов і Павличенко, 2023).

Висновки

1. Розглянуто проблематику прогнозування та регулювання рівня забруднення повітря міста Запоріжжя під час несприятливих метеоумов. Підтверджено необхідність розроблення заходів щодо запобігання наслідкам для здоров'я населення міста Запоріжжя, спричинених настанням періоду НМУ.

2. Оперативне інформування населення про періоди високого рівня забруднення, розроблення рекомендацій для населення про попереджувальні та запобіжні дії в такі періоди дозволить суттєво знизити ризики для здоров'я населення в місті Запоріжжі. Необхідно залучати наукові та медичні установи до розроблення рекомендацій для чутливих до забруднення груп населення щодо зменшення ризику впливу рівнів забруднювальних речовин на їх здоров'я та життєдіяльність.

3. Перелік підприємств, яким надходять повідомлення про високі рівні забруднення та які мають виконувати заходи щодо охорони атмосферного повітря за НМУ, потребує суттєвого перегляду та доповнення.

4. Запропоновано:

– вдосконалення наявних систем прогнозування та регулювання забруднення атмосферного повітря викидами в період НМУ, доповнення системи заходами зниження викидів під час НМУ;

– приведення нормативно-правових актів КД 52.9.4.01-09 «Методичні вказівки щодо прогнозування метеорологічних умов формування рівнів забруднення повітря в містах України» (КД 52.9.4.01-09, 2013) та РД 52.04.52-85 Методичні вказівки «Регулювання викидів при несприятливих метеорологічних умовах» у відповідність до чинної дозвільної системи (РД 52.04.52-85, 1986);

– вдосконалення системи звітування та контролю виконання заходів за НМУ, оцінювання ефективності заходів щодо скорочення викидів за НМУ.



Рис. 5. Сучасні підходи до управління якістю повітря

Список використаної літератури

Белоконь К.В., Тулушев Є.О. Аналіз впливу технологій промислових підприємств та автотранспорту на стан екологічної безпеки атмосферного повітря (на прикладі м. Запоріжжя) : монографія. Запоріжжя : Гельветика, 2020. 230 с.

Белоконь К.В., Мальований М.С., Тарабан Є.В. Оцінка ризику для здоров'я населення від техногенного навантаження на атмосферне повітря м. Запоріжжя. *Екологічні науки*. 2023. № 5(50). С. 30–36. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.5-50.5>.

Дослідження атмосферного повітря. Запорізька міська рада. [Електронний ресурс] URL: <https://zr.gov.ua/pub-info/123192-doslidzennia-atmosfernogo-povitria> (дата звернення: 25.08.2024).

Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.1992 р. № 2707-XII. [Електронний ресурс] URL: https://protocol.ua/ua/pro_ohoronu_atmosfernogo_povitrya/ (дата звернення: 25.08.2024).

Запорізька міська рада. Програма охорони довкілля щодо поетапного зниження викидів забруднюючих речовин суб'єктами господарювання м. Запоріжжя». [Електронний ресурс] URL: surl.lu/eopsrc. (дата звернення: 05.05.2025).

Запорізька обласна державна адміністрація. Стан довкілля в Запорізькій області. [Електронний ресурс] URL: <https://www.zoda.gov.ua/article/2645/stan-dovkillya-v-zaporizkiy-oblasti.html> (дата звернення: 07.04.2025).

Запорожець А.О. Аналіз засобів моніторингу забруднення повітря навколишнього середовища. *Science-Based Technologies*. 2017. № 35(3). С. 242–252. <https://doi.org/10.18372/2310-5461.35.11844>.

КД 52.9.4.01-09 Методичні вказівки щодо прогнозування метеорологічних умов формування рівнів забруднення повітря в містах України : Наказ від 13.08.2013 р. № 147. Київ : Український гідрометеорологічний центр, 2013. [Електронний ресурс] URL: <https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/1-10788-kd52.9.4.01-09.pdf> (дата звернення: 25.08.2024).

Ломазов П.К., Павличенко А.В. Впровадження міжнародного досвіду в системи екологічного моніторингу атмосферного повітря в Україні. *Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та молодих вчених «Наукова весна»*. Дніпро, 2023. С. 114–116.

Ломазов П.К., Павличенко А.В., Бучавий Ю.В. Методи прогнозування забруднення атмосферного повітря на основі машинного навчання. *Collection of research papers of the National Mining University*. 2024. № 79. С. 278–291. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/79.278>.

Пірогова І.М., Рильський О.Ф. Проблема регулювання якості повітря м. Запоріжжя при несприятливих метеоумовах. *Молодий вчений*. 2020. Т. 7. № 83. С. 128–132. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-7-83-28>.

Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 19.06.1996 р. № 173. [Електронний ресурс] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text> (дата звернення: 25.08.2024).

Про схему дій при несприятливих метеорологічних умовах : Рішення виконавчого комітету Запорізької міської ради від 06.08.2021 р. № 263. [Електронний ресурс] URL: https://zr.gov.ua/upload/content/o_1fcn8js306b71uke1th2ers113s25.pdf (дата звернення: 25.08.2024).

РД 52.04.52-85 Регулювання викидів при несприятливих метеорологічних умовах. Методичні вказівки. Затверджено Державним комітетом СРСР по гідрометеорології та контролю природного середовища 01.12.1986 р. [Електронний ресурс] URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/regulyuvannya_vikidiv_pri_nespri-3-27346.pdf (дата звернення: 25.08.2024).

Савенець М.В., Дворецька І.В., Надточій А.М. Сучасний стан забруднення атмосферного повітря в Україні за даними супутника Sentinel-5P. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія : Геологія. Географія. Екологія*. 2019. Вип. 51. С. 221–233. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-16>.

Савенець М.В. Інтегрований погляд на сучасний стан забруднення атмосферного повітря в Україні : За матеріалами наукового повідомлення на засіданні Президії НАН України 12 липня 2023 року. *Вісник Національної академії наук України*. 2023. № 9. С. 80–86. <https://doi.org/10.15407/visn2023.09.080>.

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України. Лабораторія моніторингу атмосферного повітря. [Електронний ресурс] URL: <https://uhmi.dsns.gov.ua/pro-institut/naukovi-pidrozdili-1/viddil-monitoringu-atmosferi-4-1/laboratoriia-monitoringu-atmosfernogo-povitria> (дата звернення: 02.05.2025).

Belokon K., Malovanyy M., Taraban Y., Hordiienko D., Sytyi V. Assessment of technogenic pollutants impact of the urban environment of Zaporizhzhia city on human health of the Shevchenkovskiy district. *Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти. Серія «Екологія. Публічне управління та адміністрування»*. 2024. № 2. С. 10–18. <https://doi.org/10.32782/2786-5681-2024-2.02>

Chugai A., Nedostrellov M., Lutek W. Assessment of technogenic load on the air basin of the western Ukraine regions. *Environmental problems*. 2025. Vol. 10. № 2. P. 104–109. <https://doi.org/10.23939/ep2025.02.104>

Matukhno E., Belokon K., Shatokha V., Baranova T. Ecological aspects of sustainable development of metallurgical complex in Ukraine. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*. 2019. Vol. 6. № 4. P. 671–680.

Savenets M., Dvoretzka I., Nadtochii L., Zhemera N. Comparison of TROPOMI NO₂, CO, HCHO, and SO₂ data against ground-level measurements in close proximity to large anthropogenic emission sources in the example of Ukraine. *Meteorological Applications*. 2022. Vol. 29. № 6. Article number e2108. <https://doi.org/10.1002/met.2108>.

Toronchenko O.M., Bredun V.I., Smoliar N.O. Effect of atmospheric technogenic emissions on health indicators of child population. *Wiadomosci lekarskie*. 2018. Vol. 71. № 2. P. 345–352.

References

Bielokon, K.V., & Tulushev, Ye.O. (2020). *Analiz vplyvu tekhnolohii promyslovykh pidpriemstv ta avtotransportu na stan ekolohichnoi bezpeky atmosferного povitria (na prykladi m. Zaporizhzhia)* [Analysis of the impact of industrial and transport technologies on air ecological safety (a case study of Zaporizhzhia)]. Vydavnychi Dim “Helvetyka” [in Ukrainian].

Bielokon, K.V., Malovanyi, M.S., & Taraban, Ye.V. (2023). Otsinka ryzyku dlia zdorovia naselennia vid tekhnohennoho navantazhennia na atmosferne povitria m. Zaporizhzhia [Assessment of health risks for the population from anthropogenic pressure on the air in Zaporizhzhia]. *Ekolohichni nauky [Environmental sciences]*, 5(50), 30–36. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.5-50.5> [in Ukrainian].

Zakon Ukrainy “Pro okhoronu atmosferного povitria [Law of Ukraine “On the Protection of Atmospheric Air”]. (No. 2707-XII). [Electronic resource]. URL: https://protocol.ua/ua/pro_ohoronu_atmosferного_povitrya/ (access date 25.08.2024) [in Ukrainian].

Zaporizka miska rada. (2024). *Doslidzhennia atmosferного povitria* [Air pollution research]. [Electronic resource]. URL: <https://zp.gov.ua/pub-info/123192-doslidzhennia-atmosferного-povitria> (access date 25.08.24) [in Ukrainian].

Zaporizka miska rada. (2015). *Prohrama okhorony dovkillia shchodo poetapnoho znyzhennia vykidiv zabrudniuiuchykh rehovyn subiektamy hospodariuvannia m. Zaporizhzhia* [Environmental protection program for the gradual reduction of pollutant emissions by business entities of Zaporizhzhia]. [Electronic resource]. URL: surl.lu/eopsrc (access date 05.05.2025) [in Ukrainian].

Zaporizka oblasna derzhavna administratsiia. (n.d.). *Stan dovkillia v Zaporizkii oblasti* [Environmental status in the Zaporizhzhia Oblast]. [Electronic resource]. URL: <https://www.zoda.gov.ua/article/2645/stan-dovkillya-v-zaporizkiy-oblasti>. (access date 07.04.2025) [in Ukrainian].

Zaporozhets, A.O. (2017). Analiz zasobiv monitorynhu zabrudnennia povitria navkolyshnoho seredovyshcha [Analysis of means for monitoring environmental air pollution]. *Science-Based Technologies*, 35(3), 242–252. <https://doi.org/10.18372/2310-5461.35.11844> [in Ukrainian].

Ukrainian Hydrometeorological Center. (2013). *Metodychni vkazivky shchodo prohnozuvannia meteorolohichnykh umov formuvannia rivniv zabrudnennia povitria v mistakh Ukrainy* [Methodical instructions on forecasting meteorological conditions for the formation of air pollution levels in the cities of Ukraine] (Order No. 147, KD 52.9.4.01-09). [Electronic resource]. URL: <https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/1-10788-kd52.9.4.01-09.pdf> (access date 25.08.2024) [in Ukrainian].

Lomazov, P.K., & Pavlychenko, A.V. (2023). Vprovadzhennia mizhnarodnoho dosvidu v systemy ekolohichnoho monitorynhu atmosferного povitria v Ukraini [Implementation of international experience in the systems of ecological monitoring of atmospheric air in Ukraine]. In *Materialy KhIII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii aspirantiv ta molodykh vchenykh «Naukova vesna»*, 114–116 [in Ukrainian].

Lomazov, P.K., Pavlychenko, A.V., & Buchavyi, Yu.V. (2024). Metody prohnozuvannia zabrudnennia atmosferного povitria na osnovi mashynnoho navchannia [Methods for predicting atmospheric air pollution based on machine learning]. *Collection of research papers of the National Mining University*, 79, 278–291. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/79.278> [in Ukrainian].

Pirohova, I.M., & Ryl'skyi, O.F. (2020). Problema rehuliuвання yakosti povitria m. Zaporizhzhia pry nespriyatlyvykh meteoumovakh [The problem of regulating air quality in Zaporizhzhia under unfavorable meteorological conditions]. *Molodyi vchenyi [A young scientist]*, 7(83), 128–132. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-7-83-28> [in Ukrainian].

Ukraine Ministry of Health. (1996). *Pro zatverdzhennia Derzhavnykh sanitarnykh pravyl planuvannia ta zabudovy naselennykh punktiv* [On the approval of the State Sanitary Rules for the planning and development of populated areas] (Order No. 173). [Electronic resource]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text> (access date 25.08.2024) [in Ukrainian].

Zaporizhzhia City Council, Executive Committee. (2021). *Pro skhemu dii pry nespriyatlyvykh meteorolohichnykh umovakh* [On the scheme of actions under adverse meteorological conditions] (Decision No. 263). [Electronic resource]. URL: https://zp.gov.ua/upload/content/o_1fcn8js306b71uke1th2ers113s25.pdf (access date 25.08.2024) [in Ukrainian].

State Committee of the USSR for Hydrometeorology and Environmental Control. (1986). *Rehuliuвання vykidiv pry nespriyatlyvykh meteorolohichnykh umovakh: Metodychni vkazivky* [Regulation of emissions under adverse meteorological conditions: Methodological guidelines] (RD 52.04.52-85) [Electronic resource]. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/regulyuvannya_vykidiv_pri_nespri-3-27346.pdf (access date 25.08.2024) [in Ukrainian].

Savenets, M.V., Dvoret'ska, I.V., & Nadtochii, L.M. (2019). Suchasnyi stan zabrudnennia atmosferного povitria v Ukraini za danymy suputnyka Sentinel-5P [The current state of atmospheric air pollution in Ukraine according to Sentinel-5P satellite data]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina. Serii: Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia [Bulletin of the V. N. Karazin Kharkiv National University. Series: Geology. Geography. Ecology]*, 51, 221–233. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-16> [in Ukrainian].

Savenets, M.V. (2023). Intehrovanyi pohliad na suchasnyi stan zabrudnennia atmosferного povitria v Ukraini [An integrated view on the current state of atmospheric air pollution in Ukraine]. *Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy [Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine]*, 9, 80–86. <https://doi.org/10.15407/visn2023.09.080> [in Ukrainian].

Ukrainskyi hidrometeorolohichnyi instytut DSNS Ukrainy ta NAN Ukrainy. (n.d.). *Laboratoriia monitorynhu atmosferного povitria [Laboratory for atmospheric air monitoring]*. [Electronic resource] URL: <https://uhmi.dsns.gov.ua/pro-institut/naukovi-pidrozdili-1/viddil-monitoringu-atmosferi-4-1/laboratoriia-monitoringu-atmosferного-povitria> (access date 02.05.2025)

Belokon, K., Malovanyy, M., Taraban, Y., Hordiienko, D., & Sytyi, V. (2024). Assessment of technogenic pollutants impact of the urban environment of Zaporizhzhia city on human health of the Shevchenkivskiy district. *Scientific Bulletin of the Vinnytsia Academy of Continuing Education. Series "Ecology. Public Management and Administration"*, № 2, 10–18. <https://doi.org/10.32782/2786-5681-2024-2.02> [in English].

Chugai, A., Nedostrelov, M., & Lutek, W. (2025). Assessment of technogenic load on the air basin of the western Ukraine regions. *Environmental problems*, 10 (2), 104–109. <https://doi.org/10.23939/ep2025.02.104> [in English].

Matukhno, E., Belokon, K., Shatokha, V., & Baranova, T. (2019). Ecological aspects of sustainable development of metallurgical complex in Ukraine. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 6 (4), 671–680 [in English].

Savenets, M., Dvoret'ska, I., Nadtochii, L., & Zhemera, N. (2022). Comparison of TROPOMI NO₂, CO, HCHO, and SO₂ data against ground-level measurements in close proximity to large anthropogenic emission sources in the example of Ukraine. *Meteorological Applications*, 29 (6), e2108. <https://doi.org/10.1002/met.2108> [in English].

Toronchenko, O.M., Bredun, V.I., & Smoliar, N.O. (2018). Effect of atmospheric technogenic emissions on health indicators of child population. *Wiadomosci lekarskie*, 71 (2), 345–352 [in English].

Отримано: 25.07.2025

Прийнято: 20.08.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 504.4:556.53:628.1

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.34>

ХІМІЧНИЙ ТА МІКРОБІОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ВОДИ РІЧКИ МАЛА ПУТЯТИНКА: ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

О. М. Василенко¹, О. В. Родіонова²

Дослідження якості води малих річок є важливим аспектом оцінювання екологічного стану водних ресурсів, оскільки вони виконують значну роль у підтриманні природного балансу. Зростання рівня урбанізації, індустріалізація та збільшення обсягів сільськогосподарського виробництва спричиняють значне антропогенне навантаження на водні об'єкти, що призводить до змін у хімічному складі води та загострення проблеми забруднення. Річка Мала Путятинка, що є лівою притокою річки Тетерів, піддається суттєвому впливу господарської діяльності, що супроводжується змінами її гідрохімічного складу, накопиченням забруднювальних речовин і зниженням здатності до природного самоочищення. Значна частина русла річки трансформована, що обмежує природні процеси самоочищення, а потрапляння побутових і промислових стічних вод створює потенційні екологічні ризики для регіону.

Оцінювання екологічного стану річки здійснювалося на основі фізико-хімічного та мікробіологічного аналізу проб води, що були відібрані відповідно до методичних вимог. Методологія дослідження базувалася на визначенні ключових гідрохімічних показників, як-от рН, каламутність, лужність, загальна жорсткість, концентрація біогенних сполук, вміст важких металів, а також рівень перманганатної окисності. Проведений аналіз засвідчив наявність значних відхилень у показниках якості води, що свідчить про сильний антропогенний вплив. Виявлено, що концентрація амонію становила 5,72 мг/дм³, що значно перевищує нормативні значення і може бути наслідком потрапляння у водоїму побутових або промислових стоків. Перманганатна окисність сягала 8,08 мгО₂/дм³, що вказує на наявність високого рівня органічного забруднення. Концентрації хлоридів та сульфатів були відповідно 115 мг/дм³ і 88 мг/дм³, що також перевищує нормативні значення і свідчить про значне хімічне навантаження.

Мікробіологічний аналіз засвідчив значне бактеріальне забруднення, зокрема загальна кількість коліформних бактерій у досліджуваних пробах становила 3×10^3 КУО/100 мл, що значно перевищує нормативи, встановлені для водоїм рекреаційного та господарсько-питного призначення. Отримані результати свідчать про високий рівень органічного та бактеріального забруднення, що створює ризики для біологічного різноманіття водної екосистеми, а також може становити загрозу для здоров'я населення. Проведений аналіз динаміки забруднення після фіксації скиду забруднювальних речовин показав, що через тиждень після його припинення спостерігалось часткове покращення якості води, зокрема зниження концентрації біогенних елементів. Це свідчить про наявність механізмів самоочищення річки, однак їх ефективність значно обмежена через високе навантаження забруднювачами.

¹ кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри екології та географії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: Vasylenko-O@zu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-3283-6980

² здобувачка вищої освіти природничого факультету
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: olenar050580@gmail.com
ORCID: 0009-0004-8998-4057

Отримані результати підтверджують значний вплив забруднення на річку та підкреслюють необхідність удосконалення системи екологічного моніторингу та впровадження природоохоронних заходів для мінімізації негативного впливу на екосистему. Встановлено, що природний потенціал річки до самоочищення обмежений, що може призводити до довготривалої деградації екосистеми в разі збереження поточних тенденцій забруднення. Отримані дані мають практичну значущість для розроблення ефективних природоохоронних заходів, спрямованих на покращення стану малих річок у межах урбанізованих територій. Впровадження сучасних методів очищення стічних вод, посилення контролю за господарською діяльністю та вдосконалення системи моніторингу дозволить зменшити рівень антропогенного навантаження і сприятиме відновленню екосистемної рівноваги річки.

Ключові слова: екологічна безпека, мікробіологічне забруднення, хімічний аналіз води, важкі метали, моніторинг якості води, урбанізовані водойми.

CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL ANALYSIS OF WATER FROM THE MALA PUTYATYNKA RIVER: ASSESSMENT OF ECOLOGICAL SAFETY

O. M. Vasylenko, O. V. Rodionova

Research on the water quality of small rivers is an important aspect of assessing the ecological state of water resources, as they play a significant role in maintaining the natural balance. The growth of urbanization, industrialization and increased agricultural production cause significant anthropogenic load on water bodies, which leads to changes in the chemical composition of water and aggravation of the pollution problem. The Malaya Putyatynka River, which is a left tributary of the Teteriv River, is significantly affected by economic activity, which is accompanied by changes in its hydrochemical composition, accumulation of pollutants and a decrease in its ability to natural self-purification. A significant part of the river bed has been transformed, which limits natural self-purification processes, and the ingress of domestic and industrial wastewater creates potential environmental risks for the region. The assessment of the ecological state of the river was carried out on the basis of physicochemical and microbiological analysis of water samples that were taken in accordance with methodological requirements. The research methodology was based on determining key hydrochemical indicators, such as pH, turbidity, alkalinity, total hardness, concentration of biogenic compounds, content of heavy metals, as well as the level of permanganate oxidation. The analysis showed significant deviations in water quality indicators, which indicates a strong anthropogenic impact. It was found that the ammonium concentration was 5.72 mg/dm^3 , which significantly exceeds the regulatory values, which may be a consequence of household or industrial wastewater entering the water body. Permanganate oxidation reached $8.08 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$, which indicates a high level of organic pollution. The concentrations of chlorides and sulfates were 115 mg/dm^3 and 88 mg/dm^3 , respectively, which also exceeds the regulatory values and indicates a significant chemical load.

Microbiological analysis showed significant bacterial contamination, in particular, the total number of coliform bacteria in the studied samples was $3 \times 10^3 \text{ CFU/100 ml}$, which significantly exceeds the standards established for recreational and domestic drinking water bodies. The results obtained indicate a high level of organic and bacterial contamination, which creates risks for the biological diversity of the aquatic ecosystem, and may also pose a threat to public health. The analysis of the dynamics of pollution after recording the discharge of pollutants showed that a week after its cessation, a partial improvement in water quality was observed, in particular a decrease in the concentrations of biogenic elements. This indicates the presence of self-purification mechanisms of the river, but their effectiveness is significantly limited due to the high load of pollutants. The results obtained confirm the significant impact of pollution on the river and emphasize the need to improve the environmental monitoring system and implement environmental protection measures to minimize the negative impact on the ecosystem. It was found that the natural potential of the river for self-purification is limited, which may lead to long-term degradation of the ecosystem if current pollution trends persist. The data obtained are of practical importance for the development of effective environmental protection measures aimed at improving the condition of small rivers within urbanized areas. The introduction of modern methods of wastewater treatment, increased control over economic activities and improvement of the monitoring system will reduce the level of anthropogenic load and contribute to the restoration of the river's ecosystem balance.

Key words: environmental safety, microbiological pollution, chemical analysis of water, heavy metals, water quality monitoring, urbanized water bodies.

Вступ

Малі річки відіграють важливу роль у забезпеченні екологічної рівноваги як природних, так і урбанізованих територій. Вони виконують функції природного дренажу, сприяють регулюванню мікроклімату, є середовищем існування для багатьох біологічних видів і виконують водорегулювальну функцію. Проте зростання рівня урбанізації, індустріалізація та інтенсифікація господарської діяльності суттєво змінюють гідрологічний режим малих річок, знижують їх екологічну стійкість і призводять до забруднення водних ресурсів.

Річка Мала Путятинка є лівою притокою річки Тетерів, яка, своєю чергою, впадає в Дніпро. Значна частина її русла знаходиться в межах міської забудови, що піддає її значному антропогенному навантаженню. Урбанізаційні процеси спричинили трансформацію русла, значну частину якого взято в підземні колектори, що суттєво зменшує можливість природного самоочищення річки. Забруднення Малої Путятинки є особливо небезпечним, оскільки її води надходять у Тетерів, нижче за течією якого розташовані такі населені пункти, як Коростишів, Радомишль, Іванків та Горностайпіль. Таким чином, будь-яке забруднення цієї річки потенційно впливає на якість води у всьому басейні Тетерева, що може створювати екологічні та санітарні ризики для мешканців зазначених населених пунктів.

Необхідність проведення комплексного аналізу екологічного стану малих річок, що зазнають значного техногенного навантаження, є надзвичайно актуальною. Основними загрозами для таких водних об'єктів є скиди побутових та промислових стічних вод, забруднення поверхневого стоку хімічними речовинами, ерозійні процеси, пов'язані з порушенням ландшафту. Висока концентрація біогенних елементів, важких металів та органічних забруднювачів у воді спричиняє погіршення її якості, посилює процеси евтрофікації та знижує здатність річки до природного самоочищення.

Аналіз гідроекологічного стану малих річок Полісся свідчить про необхідність системного моніторингу їх екологічного стану. Дослідження показують, що річки регіону чутливі до змін клімату та антропогенного впливу. Є. Павельчук і С. Сніжко відзначають, що глобальне потепління впливає на гідролого-гідрохімічні характери-

стики річок, зумовляючи сезонні коливання рівня води та зміну концентрацій розчинених речовин (Павельчук і Сніжко, 2017). Дослідження Н. Главацької (Главацька, 2015) демонструє суттєвий вплив урбанізації на якість води в межах Житомира, де основними джерелами забруднення виступають побутові та промислові стоки.

Дослідження впливу антропогенних чинників на екологічний стан річки Тетерів засвідчує значні зміни в гідрохімічних характеристиках водойми, спричинені урбанізацією, промисловим розвитком, сільськогосподарським використанням земель та гідротехнічними модифікаціями, що призводять до порушення природного гідрологічного режиму та посилення процесів евтрофікації (Слободенюк і Підліснюк, 2006). Зростання концентрації біогенних елементів, зокрема сполук азоту та фосфору, є наслідком скидів неочищених і недостатньо очищених стічних вод, що сприяє інтенсивному розвитку водоростей, зниженню рівня кисню у воді та трансформації біоценозу річкової екосистеми (Слободенюк і Підліснюк, 2007). Установлено, що значне накопичення органічних забруднень спричиняє розвиток анаеробних процесів, а вплив гідротехнічних споруд змінює швидкість течії, спричиняючи застійні явища та накопичення мулистих відкладень, що ускладнює природні процеси самоочищення водойми.

Дослідження важких металів у водах малих річок і боліт Житомирського Полісся підтверджує наявність підвищених концентрацій таких елементів, як мідь, свинець, кадмій, цинк, залізо та марганець, що зумовлено як природними геохімічними особливостями регіону, так і антропогенним навантаженням (Мислива і Кот, 2011). Аналіз гідрохімічного складу води свідчить про значний вплив промислових підприємств, сільськогосподарської діяльності та транспортної інфраструктури на якість водних ресурсів. Виявлені концентрації важких металів у багатьох випадках перевищують гранично допустимі значення для поверхневих вод, що вказує на високий рівень техногенного забруднення та можливі ризики для довкілля та здоров'я населення.

Встановлено, що основними шляхами надходження металів у водне середовище є дифузне забруднення, стік із сільськогосподарських угідь, змив із дорожнього покриття та промислові скиди, зокрема ті, що пов'язані з видобутком і переробленням

корисних копалин. Значна частина важких металів накопичується в донних відкладах, звідки вони можуть повторно потрапляти у воду внаслідок змін гідрохімічного балансу, що посилює їх негативний вплив на екосистему. Особливо критичною є ситуація у водоймах зі сповільненим водообміном, де відбувається накопичення забруднювальних речовин та формування токсичних зон із високим вмістом металів, що перевищують природний фон у кілька разів.

За результатами аналізу простежується залежність між рівнем забруднення та сезонними змінами у водному режимі: у весняний період спостерігається підвищення концентрація металів через інтенсивний поверхневий стік, тоді як у літній період відбувається їх осадження та часткова міграція в донні відкладення. Показано, що навіть у віддалених від промислових об'єктів водоймах фіксуються концентрації важких металів, що вказує на значну роль переносу забруднень повітряними потоками та їх подальшого потрапляння у водні екосистеми.

Дослідження міграції хімічних елементів у водосховищах річки Тетерів дозволило оцінити просторовий і сезонний розподіл забруднювачів та їх вплив на якість водного середовища (Шелюк, 2016). Установлено, що основними чинниками, які визначають динаміку перенесення речовин, є гідрологічний режим, температура води, ступінь аерації, а також фізико-хімічні властивості самих елементів. Особливу увагу приділено дослідженню розчинених і завислих форм металів, що циркулюють у водному середовищі та взаємодіють із донними відкладами. Це свідчить про необхідність урахування динамічних змін у водних екосистемах під час оцінювання їх екологічного стану. Дослідження (Tsyhanenko-Dziubenko et al., 2023) підкреслюють роль природних і антропогенних факторів у накопиченні біогенних елементів у воді річок Тетерів і Кам'янка, що впливає на їхній евтрофікаційний потенціал.

Дослідники (Алпатов та ін., 2022) наголошують на важливості комплексного підходу до моніторингу водних об'єктів, що включає гідрологічні, гідрохімічні та гідробіологічні параметри. Вони підкреслюють необхідність упровадження системного контролю за станом малих річок Полісся для ефективного управління водними ресурсами.

Загалом, результати досліджень свідчать про складний комплекс впливів на екологічний стан малих річок Полісся, що зумовлює

необхідність подальших наукових досліджень та розроблення ефективних стратегій управління водними ресурсами регіону. Важливим аспектом залишається впровадження заходів, спрямованих на зменшення техногенного навантаження та контроль за якістю води на рівні місцевих громад і державних органів.

Потребує вдосконалення методологія довгострокового моніторингу екологічного стану річок з урахуванням новітніх технологій дистанційного зондування та автоматизованих систем збору даних. Не досить досліджено механізми взаємодії між різними забруднювачами, зокрема важкими металами та органічними речовинами, а також їх вплив на водні екосистеми. Крім того, необхідний детальніший аналіз соціально-економічних аспектів управління водними ресурсами, включаючи роль місцевих громад та ефективність запроваджених заходів з покращення стану річок. Розв'язання цих питань є ключовим для забезпечення сталого використання та збереження водних ресурсів регіону.

Метою дослідження є комплексне оцінювання екологічного стану річки Мала Путьятинка на основі хімічного та мікробіологічного аналізу її води для визначення рівня забруднення, виявлення основних джерел антропогенного впливу та надання оцінки потенційним екологічним ризикам. Отримані результати сприятимуть розробленню ефективних заходів для покращення якості водних ресурсів та оптимізації їх управління в умовах міської забудови.

Матеріал і методи

Дослідження хіміко-бактеріологічних показників вод річки Мала Путьятинка здійснювалося шляхом двоетапного відбору проб води з інтервалом у тиждень. Перший забір проводився в період зафіксованого скиду забруднювальних речовин, що дозволило визначити максимальний рівень антропогенного навантаження. Другий забір здійснювався через тиждень після події з метою оцінювання змін фізико-хімічних та мікробіологічних показників і визначення здатності водотоку до природного самоочищення.

Відбір проб здійснювався відповідно до вимог ДСТУ ISO 5667-3:2001, що регламентує порядок пробовідбору, транспортування та консервації зразків. Відібрані проби зберігалися в стерильних умовах за температури не вище 4°C та підлягали дослідженню впродовж 24 годин після відбору.

Фізико-хімічний аналіз включав визначення основних показників якості води від-

повідно до затверджених стандартів. Запах і забарвленість оцінювали згідно з методикою СПТ: 08-24/С, каламутність визначали за ДСТУ ISO 7027:2003, а рівень рН – за ДСТУ 4077-2001. Визначення загальної жорсткості та лужності здійснювалося відповідно до ГОСТ 31954-2012 та ДСТУ ISO 9963-1:2010. Аналіз іонного складу включав визначення концентрацій амонію, нітритів та нітратів за ДСТУ 26777-85, хлоридів – за ДСТУ ISO 9297:2019, сульфатів – за ДСТУ ISO 9280:2021. Окисність визначали методом перманганатного титрування за ГОСТ 23268.11-78. Вміст важких металів, як-от залізо, кадмій, цинк, мідь, марганець та свинець, визначали методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії за ДСТУ ISO 11885:2001.

Мікробіологічний аналіз проводився відповідно до чинних санітарних норм. Загальне мікробне число визначалося згідно з ДСТУ EN ISO 6222:2015, а наявність коліформних бактерій – за методом мембранної фільтрації відповідно до ДСТУ ISO 9308-1:2019.

Порівняння результатів першого та другого відборів дозволило оцінити вплив скиду забруднювальних речовин на якість води та природну здатність річки до самоочищення.

Результати

Аналіз якості води річки Мала Путятинка в контрольних точках спостереження

(31.01.2025 р. та 07.02.2025 р.) дозволив оцінити вплив зафіксованого скиду забруднювальних речовин. Отримані результати подано в таблиці 1.

У день зафіксованого скиду (31.01.2025) відзначено суттєві зміни основних показників якості води, що вказують на значне антропогенне навантаження. Спостерігалось підвищення забарвленості (35°), що може свідчити про наявність розчинених органічних речовин. Прозорість води суттєво знизилася (29 см), що вказує на високу концентрацію завислих речовин. Осад мав значний хлоп'євидний характер, що може бути наслідком надходження у водне середовище забруднювальних домішок техногенного або органічного походження.

Хімічний аналіз засвідчив підвищений вміст аміаку (5,72 мг/дм³), що перевищує допустимі норми і свідчить про надходження азотовмісних сполук унаслідок скиду недостатньо очищених побутових або промислових стоків. Високий рівень перманганатної окисності (8,08 мгО₂/дм³) підтверджує значне органічне забруднення. Вміст заліза (0,74 мг/дм³) також свідчить про присутність металевих забруднень. Концентрації нітритів (0,125 мг/дм³) та нітратів (2,54 мг/дм³) свідчать про активні процеси окислення азотистих сполук.

Таблиця 1

Показники якості води р. Мала Путятинка

Найменування показника	Значення показника 31.01.2025 р.	Значення показника 07.02.2025 р.	Одиниці вимірювання
Запах	26	2	Бали
Кольоровість	35°	5,6	Градуси
Прозорість	29	20	см
Осад	значний хлоп'євидний	відсутній	
Загальна жорсткість	8,0	8	мг-екв/дм ³
Лужність загальна	7,0	6,9	мг/дм ³
Хлориди	115,0	105	мг/дм ³
Сульфати	88,0	86,0	мг/дм ³
Аміак	5,72	5,2	мг/дм ³
Нітрити	0,125	0,124	мг/дм ³
Нітрати	2,54	2,27	мг/дм ³
Окисність перманганатна	8,08	7,59	мгО ₂ /дм ³
рН	7,23	7,45	Од. рН
Залізо, загальне	0,74	0,8	мг/дм ³
Кадмій	<0,0005	<0,0005	мг/дм ³
Цинк	<0,005	<0,005	мг/дм ³
Мідь	<0,005	<0,005	мг/дм ³
Марганець	0,1	0,1	мг/дм ³
Свинець	<0,005	<0,005	мг/дм ³

Через тиждень після скиду (07.02.2025 р.) зафіксовано позитивні тенденції щодо якості води, що свідчить про часткові процеси самоочищення. Зокрема, забарвленість знизилася до 5,6°, покращилася прозорість води (20 см), а осад зник.

Концентрація аміаку зменшилася до 5,2 мг/дм³, що свідчить про його поступове біохімічне окислення. Перманганатна окисність знизилася до 7,59 мгО₂/дм³, проте її рівень залишається підвищеним. Вміст заліза дещо збільшився (до 0,8 мг/дм³), що, ймовірно, пов'язано з природними окисно-відновними процесами.

Спостерігалася тенденція до незначного зниження концентрації хлоридів (з 115,0 до 105,0 мг/дм³) та сульфатів (з 88,0 до 86,0 мг/дм³), що може бути результатом природного розбавлення води. Водневий показник (рН) зріс з 7,23 до 7,45, що може свідчити про зменшення вмісту кислих сполук у водному середовищі.

Мікробіологічний аналіз засвідчив суттєве бактеріальне забруднення води. У пробах, відібраних 07.02.2025 р., загальна кількість коліформних бактерій становила 3×10^3 КУО/100 мл, що свідчить про можливе фекальне забруднення. Загальне мікробне число досягло 126 000 КУО/л, що значно перевищує допустимі значення і вказує на високу бактеріальну забрудненість.

Отримані результати підтверджують значний вплив скиду забруднювальних речовин на якість води річки Мала Путятинка. Водночас через тиждень після забруднення спостерігалися певні позитивні зміни, що вказує на часткову здатність річки до самоочищення. Однак збереження підвищених концентрацій біогенних сполук та бактеріального забруднення свідчить про обмежені можливості природного відновлення водного середовища або про постійний характер забруднення.

Обговорення

Результати дослідження якості води річки Мала Путятинка свідчать про суттєвий вплив антропогенного навантаження на її гідрохімічний та мікробіологічний стан. Виявлені зміни показників підтверджують наявність забруднення водотоку, що може бути спричинено скидами неочищених або не досить очищених стічних вод, а також надходженням забруднювальних речовин із поверхневим стоком. Аналіз отриманих даних дозволяє оцінити динаміку змін водної екосистеми та визначити потенційні ризики для навколишнього середовища.

За інформацією Державної екологічної інспекції в Житомирській області, цей водотік зазнає значного техногенного впливу. Урбанізаційні процеси призвели до трансформації значної частини русла, яке було направлено в підземні колектори, що обмежує природні процеси аерації та самоочищення води (Державна ..., 2025). Відкрита частина річки протікає територією приватного сектора, де фіксуються несанкціоновані скиди господарсько- побутових стоків. Така практика є поширеною серед місцевих мешканців, які, уникаючи витрат на централізоване водовідведення, здійснюють скиди стічних вод безпосередньо у водотік, що призводить до значного мікробіологічного та біогенного забруднення (Главацька, 2015).

Аналіз гідрохімічних показників свідчить про наявність високих концентрацій органічних та мінеральних забруднень у воді річки, особливо в період зафіксованого скиду (31.01.2025 р.). Підвищена забарвленість води (35°) та знижена прозорість (29 см) є індикаторами значної концентрації завислих речовин та органічних домішок. Наявність хлоп'явидного осаду свідчить про коагуляцію органічних і неорганічних речовин, що може бути наслідком забруднення стічними водами (Слободенюк і Підліснюк, 2006). Високий рівень амонійного азоту (5,72 мг/дм³) та підвищена перманганатна окисність (8,08 мгО₂/дм³) вказують на значний вміст біогенних речовин і наявність процесів активного розкладу органічної речовини (Павельчук і Сніжко, 2017).

Вміст заліза в досліджених пробах (0,74 мг/дм³) також перевищував типові значення для чистих поверхневих вод. Це може бути пов'язане як із техногенними джерелами, так і з природними факторами. Український кристалічний щит, на якому розташований Житомирський регіон, є геологічною структурою, що містить значні поклади залізистих мінералів, які можуть зумовлювати підвищений вміст заліза у природних водах. Аналогічна ситуація характерна і для концентрації марганцю, що може зумовлюватися як геохімічними процесами, так і техногенними впливами (Мислива і Кот, 2011).

Підвищені концентрації нітритів (0,125 мг/дм³) та нітратів (2,54 мг/дм³) свідчать про значний рівень трансформації азотних сполук у водному середовищі. Високі концентрації цих сполук можуть бути наслідком як процесів мінералізації орга-

нічної речовини, так і надходження азотних добрив із сільськогосподарських угідь через поверхневий стік (Tsyhanenko-Dziubenko et al., 2023).

Через тиждень після скиду (07.02.2025 р.) зафіксовані позитивні зміни у фізико-хімічних показниках. Спостерігалось зниження забарвленості (до 5,6°) та покращення прозорості води (до 20 см), що може свідчити про часткове осадження завислих часток та розбавлення забруднювачів. Відсутність осаду в пробах указує на поступове очищення водотоку. Однак концентрація аміаку залишалася підвищеною (5,2 мг/дм³), що вказує на продовження процесів розкладу органічних речовин або на подальші скиди забруднювальних речовин. Перманганатна окисність (7,59 мгО₂/дм³) залишалася на високому рівні, що також свідчить про значну концентрацію органічних забруднень у воді.

Мікробіологічний аналіз показав суттєве бактеріальне забруднення води, що може створювати потенційну загрозу для населення та екосистеми річки. Загальна кількість коліформних бактерій у пробах 07.02.2025 р. становила 3×10^3 КУО/100 мл, що значно перевищує нормативи для водойм рекреаційного призначення (500 КУО/100 мл) і питної води (0 КУО/100 мл) згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10 (Державні ..., 2025). Загальне мікробне число у пробах становило 126 000 КУО/л, що суттєво перевищує допустимий рівень для водних об'єктів, які можуть контактувати з людиною.

Висновки

Результати проведеного дослідження свідчать про суттєвий антропогенний вплив на екологічний стан річки Мала Путьятинка, що виражається в стійкому забрудненні її води біогенними, органічними та мікробіологічними речовинами. Аналіз гідрохімічних і мікробіологічних показників дозволив установити, що річка зазнає постійного негативного впливу через несанкціоновані скиди побутових та каналізаційних стоків, що спричиняє накопичення у водному середовищі сполук азоту, заліза, органічних речовин та мікроорганізмів, які значно перевищують допустимі концентрації. Найбільш критичний стан води було зафіксовано під час спостереження 31.01.2025 р., коли рівень аміаку, перманганатної окисності та заліза значно перевищував допустимі норми, а наявність завислих часток і осаду вказувала на значну кількість органічних

і неорганічних забруднювачів, що потрапили до річки.

Отримані результати вказують на низьку здатність річки до самоочищення. Навіть через тиждень після припинення зафіксованого скиду концентрація забруднювачів залишалася високою. Незначне зменшення рівня аміаку, який знизився з 5,72 мг/дм³ до 5,2 мг/дм³, свідчить про його повільне розкладання та продовження процесів накопичення азотовмісних сполук. Висока перманганатна окисність, що після тижня залишалася на рівні 7,59 мгО₂/дм³, підтверджує значну кількість органічних речовин, які, ймовірно, є наслідком побутового забруднення.

Мікробіологічний аналіз підтвердив високий рівень бактеріологічного забруднення води, що свідчить про фекальне та господарсько-побутове походження стічних вод, які потрапляють у річку.

Виявлені рівні забруднення підтверджують, що річка Мала Путьятинка є екологічно неблагополучним водотоком, який має обмежену здатність до природного відновлення. Значний рівень мікробного та органічного навантаження може негативно впливати не лише на якість води цієї річки, але й на стан її приймача – річки Тетерів, яка використовується для водопостачання та має стратегічне значення для регіону. Отримані результати свідчать про необхідність посилення заходів із моніторингу, виявлення джерел забруднення і реалізації екологічних програм, спрямованих на зменшення негативного впливу господарської діяльності на стан водних ресурсів.

На основі проведеного дослідження було підготовлено звернення до Державної екологічної інспекції Поліського округу з вимогою проведення перевірки можливих джерел забруднення та вжиття відповідних заходів для припинення несанкціонованих скидів. Виявлені порушення свідчать про необхідність посилення контролю за дотриманням природоохоронного законодавства і підвищення відповідальності за забруднення водних об'єктів.

Перспективи подальших досліджень охоплюють розширення програми моніторингу з включенням додаткових фізико-хімічних, біологічних та токсикологічних показників, що дозволить детальніше оцінити рівень забруднення та його вплив на водну екосистему. Аналіз динаміки змін показників води в різні сезони дозволить оцінити можливість самоочищення річки в природних умовах

та розробити заходи щодо відновлення її екологічного стану. Моделювання процесів самоочищення та визначення ефективності природних і технологічних методів ремедіації дозволить розробити ефективні рішення для зменшення антропогенного навантаження на річку. Подальші дослідження також мають включати оцінювання впливу несанкціонованих скидів на біорізноманіття річкової екосистеми, що дасть змогу повніше оцінити екологічні наслідки забруднення.

Отримані результати можуть бути використані для розроблення програм збереження та відновлення малих річок Полісся, що є важливим аспектом забезпечення екологічної стабільності регіону. Реалізація заходів зі зменшення антропогенного навантаження на водні об'єкти дозволить не лише покращити якість води в річці Мала Путятинка, але й сприятиме відновленню природного балансу водних ресурсів у всьому регіоні.

Список використаної літератури

Алпатов О.С., Циганенко-Дзюбенко І.Ю., Луньова О.В. Особливості моніторингу малих річок в умовах Полісся. *Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції», 30 листопада 2022 року*. Житомир : Житомирська політехніка, 2022. С. 65–66. [Електронний ресурс] URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/01/65.pdf> (дата звернення: 10.03.2025).

Главацька Н. Гідроекологічний стан річок в межах міста Житомира. *Міськість: наука, культура, мистецтво*. 2015. № 5 (2). С. 86–91. [Електронний ресурс] URL: http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/1540/1/Glavatska_Gidroek_stan_M_2015.pdf (дата звернення: 12.03.2025).

Державна екологічна інспекція у Житомирській області. Річка Путятинка навесні очима небайдужих. 2023. [Електронний ресурс] URL: <https://dei.zt.ua/novynu/451-richka-putiatynka-navesni-ochuma-nebaiduzhykh> (дата звернення: 12.03.2025).

Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10) : затв. наказом МОЗ України від 12.05.2010 р. № 400, зареєстр. в Мін'юсті України 01.07.2010 р. за № 452/17747. [Електронний ресурс] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10> (дата звернення: 10.03.2025).

Мислива Т.М., Кот І.С. Важкі метали у водах малих річок і боліт Житомирського Полісся. *Вісник Житомирського національного агроєкологічного університету*. 2011. № 2. Т. 1. С. 58–68. [Електронний ресурс] URL: <http://lib.znau.edu.ua/jspui/handle/123456789/1234> (дата звернення: 10.03.2025).

Павельчук Є.М., Сніжко С.І. Гідролого-гідрохімічні характеристики річок Житомирського Полісся в умовах глобального потепління. Житомир : Волинь, 2017. 244 с.

Слободенюк М.О., Підліснюк В.В. Вплив антропогенних факторів на екологічний стан річки Тетерів. *Наук. вісник Нац. аграрного ун-ту*. 2006. № 95 (2). С. 166–171.

Слободенюк М.О., Підліснюк В.В. Екологічна оцінка якості води в р. Тетерів за інтегральними показниками. *Наук. вісник Нац. аграрного ун-ту*. 2007. № 107 (1). С. 161–167.

Шелюк Ю.С. Особливості міграції хімічних елементів у водосховищах річки Тетерів. *Гідробіологічний журнал*. 2016. Т. 52. № 5. С. 93–107. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v52.i5.90>.

Tsyhanenko-Dziubenko I., Kireitseva H., Demchuk L., Vovk V. Hydrochemical determination of the Teteriv River and the Kamianka River eutrophication potential. *17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. Nov 2023; Vol. 2023, p. 1–4. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520089>.

References

Alpatov, O.S., Tsyhanenko-Dziubenko, I.Y., & Luniova, O.V. (2022). Osoblyvosti monitoryngu malykh richok v umovakh Polissia [Features of monitoring small rivers in the conditions of Polissia]. *Vseukrayins'ka naukovo-praktychna konferentsiya zdobuvachiv vyshchoyi osvity i molodykh uchenykh "Stalyy rozvytok krayiny v ramkakh Yevropeys'koyi intehratsiyi"* [In Proceedings of the All-Ukrainian scientific-practical conference "Sustainable development of the country within the framework of European integration", November 30, 2022 (pp. 65–66)]. Zhytomyr Polytechnic. [Electronic resource]. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/01/65.pdf> (access date 10.03.2025) [in Ukrainian].

Glavatska, N. (2015). Hidroekologichnyi stan richok v mezhakh mista Zhytomyra [Hydroecological state of rivers within the city of Zhytomyr]. *Miskist: Nauka, kultura, mystetstvo [Urbanity: science,*

culture, art], 5 (2), 86-91. [Electronic resource]. URL: http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/1540/1/Glavatska_Gidroek_stan_M_2015.pdf (access date 12.03.2025) [in Ukrainian].

Derzhavna ekolohichna inspektsiia u Zhytomyrskii oblasti [State Environmental Inspectorate in Zhytomyr region]. (2023). Richka Putiatynka navesni ochyma neбайдужыkh [The Putiatynka River in spring through the eyes of the concerned]. [Electronic resource] URL: <https://dei.zt.ua/novyny/451-richka-putiatynka-navesni-ochyma-neбайдужыkh> (access date 12.03.2025) [in Ukrainian].

Derzhavni sanitari normy ta pravyla "Hihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoї dlia spozhyvannia liudynoi" (DSanPiN 2.2.4-171-10) [State sanitary norms and rules on drinking water quality]. (2010). [Electronic resource]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10> (access date 10.03.2025) [in Ukrainian].

Myslyva, T.M., & Kot, I.S. (2011). Vazhki metaly u vodakh malykh richok i bolit Zhytomyrskoho Polissia [Heavy metals in the waters of small rivers and bogs of Zhytomyr Polissia]. *Visnyk Zhytomyrskoho natsionalnoho ahroekolohichnoho universytetu [Bulletin of the Zhytomyr National Agroecological University]*, 2 (1), 58-68. [Electronic resource] URL: <http://lib.znau.edu.ua/jspui/handle/123456789/1234> (access date 10.03.2025) [in Ukrainian].

Pavelchuk, Y.M., & Snizhko, S.I. (2017). Hidroloho-hidrokhimichni kharakterystyky richok Zhytomyrskoho Polissia v umovakh hlobalnoho poteplynnia [Hydrological and hydrochemical characteristics of the rivers of Zhytomyr Polissia under conditions of global warming]. *Volyn* [in Ukrainian].

Slobodeniuk, M.O., & Pidlisniuk, V.V. (2006). Vplyv antropohennykh faktoriv na ekolohichni stan richky Teteriv [Impact of anthropogenic factors on the ecological state of the Teteriv River]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho ahrarynoho universytetu [Scientific Bulletin of the National Agrarian University]*, 95 (2), 166-171 [in Ukrainian].

Slobodeniuk, M.O., & Pidlisniuk, V.V. (2007). Ekolohichna otsinka yakosti vody v r. Teteriv za intehralnymy pokaznykamy [Ecological assessment of water quality in the Teteriv River based on integral indicators]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho ahrarynoho universytetu [Scientific Bulletin of the National Agrarian University]*, 107 (1), 161-167 [in Ukrainian].

Shelyuk, Yu.S. (2016). Osoblyvosti mihratsii khimichnykh elementiv u vodoskhovyshchakh richky Teteriv [Features of chemical elements migration in the reservoirs of the Teteriv River]. *Hidrobiolohichnyy zhurnal [Hydrobiological Journal]*, 52 (5), 93-107. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v52.i5.90> [in Ukrainian].

Tsyhanenko-Dziubenko, I., Kireitseva, H., Demchuk, L., & Vovk, V. (2023). Hydrochemical determination of the Teteriv River and the Kamianka River eutrophication potential. *17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, Nov. 2023; Vol. 2023, p. 1-4. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520089> [in English].

Отримано: 24.07.2025

Прийнято: 18.08.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 911.8:504.054.05:556.531
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.35>

АНАЛІЗ ДОСВІДУ ЗАСТОСУВАННЯ БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ РАНЬОГО ЗАПОБІГАННЯ ЗАБРУДНЕННЮ ВОД

О. М. Крайнюков¹, М. М. Щокіна²

Забруднення водних ресурсів є однією з найбільш критичних глобальних екологічних проблем сучасності, що має далекосяжні наслідки для біосфери та людства. Цей феномен характеризується зміною фізичних, хімічних і біологічних властивостей води, що робить її непридатною для споживання та порушує функціонування природних екосистем. Основними антропогенними джерелами забруднення є промислові стічні води, побутові стічні води, сільськогосподарська діяльність. Усе це створює значну загрозу для здоров'я екосистем і людей.

*Для оцінювання рівня забруднення та впливу поллютантів на біотичні системи застосовуються комплексні екотоксикологічні дослідження. Дафнії (*Daphnia magna*) визнані стандартною тест-моделлю в біотестуванні завдяки високій чутливості до змін якості води, короткому життєвому циклу та легкості культивування. Дослідження фокусуються не лише на показниках народжуваності та летальності, а й на модифікаціях рухової активності, яка є надзвичайно чутливим індикатором стресу. Методи аналізу включають відеомоніторинг і кількісне оцінювання параметрів плавання (швидкість, пройдена відстань, час нерухомості/активності, частота зміни напрямку, просторовий розподіл, реакція на світло/темряву).*

Аналіз наукових публікацій підтверджує значний інтерес до поведінки дафній як алармної системи раннього попередження. Зміни у швидкості плавання, характері руху (хаотичні, тонучі рухи) або вертикальній міграції спостерігаються задовго до смертельних ефектів. Дослідження показують, що різні забруднювачі (важкі метали, барвники, мікропластик, гербіциди) спричиняють специфічні «поведінкові профілі», що дозволяє ідентифікувати механізми дії токсикантів на нервову чи ендокринну системи.

Виявлена висока кореляція між показниками плавальної поведінки та концентрацією забруднювачів підкреслює практичну значущість цих досліджень для біомоніторингу й екотоксикологічної оцінки водних ресурсів. Дафнії використовуються в моніторингових системах раннього біологічного попередження для експрес-тесту якості питної води. Зміни в їхній поведінці можуть мати каскадні ефекти на всю прісноводну екосистему, впливати на харчові мережі та функціонування водойми. Це закладає основу для розроблення комплексної технології швидкого виявлення токсичності водного середовища.

Ключові слова: забруднення вод, біологічний моніторинг, токсичні властивості води, експрес-аналіз, біотестування, тест-об'єкт, чутливість організму.

¹ доктор географічних наук, професор,
професор кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти
(Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків)
e-mail: kraunukov@karazin.ua
ORCID: 0000-0002-5264-3118

² аспірантка кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти
ННІ екології
(Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків)
e-mail: m.shchokina@karazin.ua
ORCID: 0009-0003-2313-4036

ANALYSIS OF EXPERIENCE IN THE APPLICATION OF BIOLOGICAL SYSTEMS FOR EARLY WARNING OF WATER POLLUTION

O. M. Kraynyukov, M. M. Shchokina

Water pollution is one of the most critical global environmental problems of our time, which has far-reaching consequences for the biosphere and humanity. This phenomenon is characterized by a change in the physical, chemical and biological properties of water, which makes it unsuitable for consumption and disrupts the functioning of natural ecosystems. The main anthropogenic sources of pollution are industrial wastewater, domestic wastewater, agricultural activities. All this poses a significant threat to the health of ecosystems and people.

*Comprehensive ecotoxicological studies are used to assess the level of pollution and the impact of pollutants on biotic systems. Daphnia (*Daphnia magna*) is recognized as a standard test model in bioassays due to its high sensitivity to changes in water quality, short life cycle and ease of cultivation. Studies focus not only on fertility and mortality rates, but also on modifications of motor activity, which is an extremely sensitive indicator of stress. Analysis methods include video monitoring and quantitative assessment of swimming parameters (speed, distance traveled, immobility/activity time, frequency of direction changes, spatial distribution, response to light/darkness).*

Analysis of scientific publications confirms the considerable interest in the behavior of Daphnia as an early warning alarm system. Changes in swimming speed, movement pattern (chaotic, sinking movements) or vertical migration occur long before lethal effects. Studies show that different pollutants (heavy metals, dyes, microplastics, herbicides) cause specific "behavioral profiles", which allows to identify the mechanisms of action of toxicants on the nervous or endocrine systems.

The high correlation between swimming behavior and pollutant concentration was found, emphasizing the practical significance of these studies for biomonitoring and ecotoxicological assessment of water resources. Daphnia are used in early biological warning monitoring systems for rapid testing of drinking water quality. Changes in their behavior can have cascading effects on the entire freshwater ecosystem, affecting food webs and the functioning of the reservoir. This lays the foundation for the development of a comprehensive technology for rapid detection of aquatic toxicity.

Key words: water pollution, biological monitoring, toxic properties of water, rapid analysis, biotesting, test object, organism sensitivity.

Вступ

Забруднення поверхневих вод є однією із критичних глобальних проблем, що спричиняє деградацію водних екосистем, впливає на якість ґрунтових вод і безпеку питного водопостачання. Основними джерелами антропогенного впливу є промислові стоки, побутові відходи, сільськогосподарська діяльність. Ці чинники провокують низку негативних екологічних змін (Безсонний, 2023; Коніщук та ін., 2023), зокрема: зростання вмісту забруднювальних речовин у водних об'єктах, евтрофікацію, зниження рівня розчиненого кисню, руйнування природних середовищ існування для риб та інших гідробіонтів, що веде до зменшення біорізноманіття. Наслідки цих процесів створюють значну загрозу для здоров'я екосистем і людини, потребують комплексних підходів до управління водними ресурсами та посилення природоохоронних заходів.

Для оцінювання рівня забруднення водних об'єктів, визначення впливу полютантів на біотичні компоненти та кількісного оцінювання збитків, завданих рибному господарству, наукові спільноти застосовують комплексні дослідження та екотокси-

кологічні експерименти (Крайнюкова та ін., 2019; Anggayasti et al., 2024; Крайнюков та ін., 2024). У рамках біотестування (Крайнюкова та ін., 2020; Крайнюкова та ін., 2021; Шелюк та ін., 2024) для ідентифікації токсичних сполук у водному середовищі стандартною тест-моделлю визнано дафній (*Daphnia magna* Straus). Використання цих ракоподібних дозволяє ефективно оцінювати гостру та хронічну токсичність різноманітних забруднювальних речовин завдяки їхній високій чутливості до змін якості води, короткому життєвому циклу та легкій доступності для лабораторного культивування, що насамперед пов'язане з екотоксикологією та моніторингом навколишнього середовища.

Дафнії демонструють чутливість до змін гідрохімічних параметрів водного середовища не лише через показники народжуваності та летальності, а й через модифікації в їхній поведінці (Sandbacka et al., 2000). Рухова активність дафній є надзвичайно чутливим показником стресу, глибокий аналіз поведінки тварини дозволяє виявити закономірності реакцій, які можуть слугувати алармною системою (сигнальною

системою раннього попередження) для оцінювання токсичності середовища існування. Дослідження поведінкових реакцій, зокрема характеру плавання, швидкості пересування та вертикального розподілу цих організмів, надає додаткову інформацію щодо сублетального впливу полютантів, що є цінним для біомоніторингу й екотоксикологічного оцінювання водних ресурсів. Зміни у швидкості плавання, характері руху (наприклад, хаотичні рухи, тонучі рухи, зниження активності) або вертикальній міграції можуть виникати задовго до того, як з'являться смертельні чи репродуктивні ефекти. Деякі моніторингові системи раннього біологічного попередження використовують дафній для експрес-тесту якості питної води або поверхневих вод у реальному часі.

Дафнії широко використовуються у стандартизованих тестах на токсичність для оцінювання потенційної небезпеки нових та наявних хімікатів, пестицидів, фармацевтичних препаратів, важких металів, наночастинок і мікропластику (Litynska et al., 2021; Loboda & Daus, 2021; Shykhaleeva & Kiryushkina, 2025). Дослідження рухової активності допомагають визначити сублетальні ефекти, тобто впливи, які не вбивають організм, але негативно позначаються на його поведінці, виживанні, рості та розмноженні. Різні забруднювачі можуть спричиняти специфічні зміни в руховій поведінці. Завдяки дослідженням цих «поведінкових профілів» учені можуть отримати уявлення про те, як саме окремий токсикант впливає на нервову, ендокринну системи або фізіологію дафній (Roeh et al., 2001). Це допомагає ідентифікувати механізми дії забруднювачів.

Головне, що дафнії є ключовою ланкою у прісноводних харчових мережах, слугують важливою їжею для риб та інших водних організмів. Зміни в їхній руховій активності під впливом забруднення можуть мати каскадні ефекти на всю екосистему, впливати на доступність їжі, взаємодію хижака – жертва та загальне функціонування водойми.

Матеріал і методи

Для оцінювання дослідження впливу полютантів на біотичні системи, а також для вивчення досвіду застосування біологічних систем, які використовувалися для раннього запобігання забрудненню водних ресурсів, був застосований комплексний підхід до аналізу наукової літера-

тури українських і закордонних фахових видань (Мельничук та ін., 2021; Kovalchuk et al., 2021; Крайнюков та ін., 2022) щодо екотоксикологічних експериментів. Метод аналізу літературних джерел надав результат, який підтвердив інтерес науковців до поведінки дафній і те, що результати цих досліджень можна використовувати як системи раннього попередження. Наукова література, присвячена екотоксикологічному аналізу локомоторної активності дафній, характеризується значною різноманітністю методологічних підходів і тест-реакцій. Аналіз наукових публікацій також допоміг виявити великий обсяг проведених досліджень та методологічну різноманітність підходів до вивчення поведінкових патернів цих організмів.

Метааналіз – це кількісний метод, який часто є частиною систематичного огляду. Він допоміг об'єднати результати кількох досліджень, як-от: біотестування, екотоксикологічні дослідження, відеомоніторинг і кількісне оцінювання параметрів плавання, експериментальні методи. У результаті цей метод визначив, що дафнії (*Daphnia magna*) визнані стандартною тест-моделлю в біотестуванні для ідентифікації токсичних сполук у водному середовищі. Для оцінювання рівня забруднення та впливу полютантів на біотичні системи застосовувалися екотоксикологічні дослідження. Для аналізу рухової активності дафній використовувалися методи відеомоніторингу, а саме спеціалізована система “ZebraBox” та програмне забезпечення “ZebraLab”, а також цифрова система відстеження “Zantiks MWP”.

Наративний огляд наукових публікацій збирає та узагальнює літературу на основі знань, суб'єктивного вибору та досвіду, надає широкий, описовий огляд теми, окреслює ключові концепції, теорії та дебати.

Методом узагальнення та систематизації опановано інформацію щодо ключових аспектів застосування біологічних систем, зокрема дафній, для раннього запобігання забрудненню вод. Цей метод включає визначення дослідницького питання, критеріїв включення/виключення досліджень, методів пошуку, відбору й оцінювання якості статей.

Усі ці методи є інструментами, які допомагають працювати з величезним масивом наукової інформації, щоб зробити її зрозумілою, систематизованою та корисною для майбутнього використання.

Результати

Аналіз наукових публікацій, присвячених дослідженню поведінки дафній, свідчить про значний інтерес до цієї тематики в сучасному науковому середовищі. Виявлено великий обсяг проведених досліджень і значне методологічне різноманіття підходів до вивчення поведінкових патернів цих організмів.

Під впливом чинників, що перевищують гранично допустимі концентрації, зокрема важких металів, коливань температури, надлишку хімічних добрив, а також загальних змін фізико-хімічних показників водного середовища, у тестових об'єктах спостерігаються значні модифікації поведінкових патернів. Виявлені зміни охоплюють широкий спектр кінематичних і просторових характеристик, як-от: швидкість пересування, характер стрибкоподібних рухів (амплітуда та траєкторія), обертальні рухи, кути поворотів, загальна рухова активність, тривалість періодів руху, частота стрибків, зміни у виборі точок перебування в середовищі.

Наукова стаття (Abe et al., 2019) присвячена оцінюванню екологічної безпеки двох класів барвників, з використанням мікроракоподібних дафній як стандартного прісноводного організму, що широко застосовується в біоаналізах токсичності. Дослідження фокусується на порівняльному аналізі впливу синтетичного азобарвника Basic Red 51 (далі – BR₅₁), який повсюдно використовується в косметичній і текстильній промисловості, та природного барвника еритростомінону (далі – Ery), видобутого із грибів, що має потенційне промислове застосування. Основною метою було не лише визначення виживаності *D. magna*, але й оцінювання низки сублетальних і хронічних показників токсичності, зокрема поведінкових реакцій, інтенсивності дихання та репродуктивних параметрів.

Для визначення гострої токсичності барвників (BR₅₁, Ery та фотодegradованого Ery (далі – DEry)) було проведено експеримент із розрахунком 48-годинної медіанної ефективної концентрації (EC₅₀). Умови експерименту передбачали утримання дафній в 6-лункових планшетах, кожна з яких містила 10 мл тестового розчину. Щільність організмів становила 5 особин на лунку, водночас для кожної тестової обробки використовувалось 4 лунки (загалом n = 20 організмів на обробку). Аналіз поведінки *D. magna* здійснювався на 4-денних моло-

дих особинах із застосуванням спеціалізованої системи “ZebraBox” та програмного забезпечення “ZebraLab” (ViewPoint Life Science, Ліон (Франція)). Після 24-годинної експозиції до барвників дафнії індивідуально переміщувались у 24-лункові прозорі планшети, що містили 0,5 мл тестового розчину в кожній лунці.

Барвник BR₅₁ продемонстрував значне підвищення споживання кисню *D. magna* – на 14% за концентрації 0,02 мг/л, порівняно з контрольною групою, що вказує на активацію метаболічних процесів. Натомість вплив Ery та DEry не спричинив істотних змін у показниках споживання кисню.

Загальна локомоторна активність (пройдена відстань та швидкість плавання) дафній не була статистично значуще змінена під впливом жодного з досліджуваних барвників (Ery або BR₅₁ протягом 24-годинної експозиції).

Відповідно до очікуваних фізіологічних реакцій, дафнії демонстрували вищі показники швидкості та пройденої відстані у світлих циклах порівняно з темними, що зумовлено їхнім вираженням позитивним фототаксисом.

У кваліфікаційній роботі магістра (Котик, 2021) автор досліджує вплив іонів важких металів, зокрема Купруму (II) (Cu²⁺) та Феруму (II) (Fe²⁺), на поведінкові реакції представників роду *Daphnia*, надає екотоксикологічну оцінку експерименту. Застосовані методи біотестування, які включали культивування дафній, приготування тестових розчинів і відеомоніторинг з подальшим аналізом поведінки. Проведено кількісне оцінювання таких показників, як: швидкість плавання (середня або максимальна швидкість руху), пройдена відстань (сумарна дистанція, подолана організмом за визначений період), час нерухомості/активності (співвідношення періодів спокою і руху), частота зміни напрямку (кількість поворотів або різких змін траєкторії), просторовий розподіл (перевага окремих зон тестової ємності, наприклад, придонної, приповерхневої, центральної або периферичної), а також реакція на світло/темряву (фототаксис) (зміни активності або розподілу за зміни освітлення).

У результаті дослідження впливу катіонів важких металів, як-от Купрум (II) і Ферум (II), виявлено характерні зміни в поведінці дафній. За концентрації Cu²⁺ 0,01 мг/л за 15 хвилин спостерігалось суттєве зростання рухової активності – на 41,1% (p < 0,001).

Однак за 60 хвилин експозиції зафіксовано зниження даного показника на 5,3% ($p < 0,01$) порівняно з контрольною групою. За подальшого підвищення концентрації токсиканта та тривалості експерименту (на 60 хвилині) дафнії ставали менш активними, демонстрували зменшення швидкості плавання та пройденої відстані. Починаючи із 60-ї хвилини експозиції в деяких дафній спостерігалася реакція обертання, а за 24 години рухи всіх тварин набули переважно характеру хаотичних обертань. Окрім того, у забрудненій воді дафнії змінювали свій звичний вертикальний розподіл у товщі води, уникали поверхневих або придонних шарів. Отримані результати чітко демонструють, що іони Купруму (II) та Феруму (II) мають виражений екотоксикологічний вплив на поведінкові реакції дафній. Виявлені зміни в руховій активності, швидкості плавання, пройденої відстані, частоті зміни напрямку та просторовому розподілі вказують на стресовий вплив цих важких металів.

У роботі (Magester et al., 2021) досліджено вплив мікропластику на забруднення екосистеми водойм, а саме розглянуто поведінку та життєдіяльність дафній. Деякі мікропластики залишаються у водному стовпі, тоді як важчі осідають на дно. Обидва ці сценарії створюють загрозу для водних організмів, що живуть як у товщі води, так і в бентосній зоні. Дафнії, будучи фільтраторами, можуть поглинати мікропластик (розміром до 30 мкм), оскільки ці частинки перебувають у діапазоні розмірів їхньої їжі, вони не можуть відрізнити їх від звичайних частинок їжі. Дослідження показало, що мікропластик, що осідає, призводить до зменшення швидкості плавання *Daphnia magna* під час вертикальних траєкторій. У разі, коли присутній лише мікропластик, траєкторії плавання дафній вказували на серйозний стрес і дезорієнтацію організмів: особини змінювали локомоторні функції на стрибаючі та тонучі рухи. Це демонструє сублетальні (не смертельні, але шкідливі) ефекти мікропластику на цих організмів. Окрім змін у поведінці, мікропластик також знижував ріст тіла та показники виживання дафній.

Рухова поведінка *Daphnia magna* змінювалася під впливом мікропластику так: дафнії, що піддавалися впливу мікропластику, що осідає, продемонстрували зменшення швидкості плавання під час своїх типових вертикальних траєкторій. Це вказує на упо-

вільнення їхнього руху. У присутності лише мікропластику траєкторії плавання дафній змінювалися. Замість звичайних вертикальних рухів вони демонстрували стрибаючі та тонучі рухи. Зміни в руховій поведінці дафній, зокрема їхні рухи вниз (тонучі рухи), можуть сприяти переміщенню мікропластику, який зазвичай залишався б у верхніх шарах води завдяки своїй плавучості, до глибших шарів водного стовпа або на дно. У статті акцентовано увагу на тому, що мікропластик спричиняє сублетальні зміни у звичній руховій поведінці дафній, що проявляється як у зміні швидкості плавання, так і в характері їхніх траєкторій руху.

У науковій праці (Qin et al., 2025) досліджено токсичний вплив гербіциду Діурону (DCMU) на плавальну поведінку прісноводних рачків *Daphnia magna*. Головна мета дослідження – розробити швидкий і чутливий метод виявлення токсичності води на основі змін у швидкості плавання дафній. У процесі експерименту дафнії піддавалися короткочасній дії різних концентрацій Діурону, як сублетальних (які не вбивають), так і летальних (смертельні) концентрацій. Основним методом дослідження були безперервне спостереження і аналіз середньої швидкості плавання дафній. Цей новий підхід порівнювався із традиційним 48-годинним статичним тестуванням на токсичність для оцінювання його чутливості та придатності для швидкого виявлення. Було виявлено, що середня швидкість плавання дафній прогресивно зменшувалася із часом експерименту, незалежно від концентрації Діурону (чи була вона сублетальною, чи летальною). За летальних концентрацій Діурону початкова швидкість плавання була вищою, ніж за сублетальних концентрацій, що може свідчити про стимульовану або прискорену реакцію на токсикант. Поведінкові показники плавання дафній є більш чутливими до впливу Діурону вже після 5 хвилин порівняно із традиційними методами, що робить їх придатними для швидкого виявлення токсичності. Виявлено високу кореляцію між показником швидкості плавання та концентрацією впливу. Дослідження закладає основу для розроблення комплексної технології швидкого виявлення токсичності водного середовища, базуючись на токсичній реакції показників плавальної поведінки дафній.

У статті (Artells et al., 2013) досліджено вплив наночастинок діоксиду церію (CeO_2 NPs) на виживаність та плавальну здат-

ність двох видів дафній: *Daphnia similis* та *Daphnia pulex*.

Виявлено, що наночастинки CeO_2 по-різному та значно впливають на швидкість плавання обох видів дафній, змушують їх плавати повільніше. Наприклад, після 48 годин впливу 1 мг/л наночастинок швидкість плавання зменшилася на 30% у *D. pulex* та на 40% у *D. similis*. За вищих концентрацій вплив на *D. similis* був сильнішим. Відмінності в токсичних ефектах CeO_2 NPs між видами пояснюються морфологічними особливостями. *D. similis* має більший дистальний шип (0,6–1 мм) та багато дрібних шипів на кутикулі, тоді як *D. pulex* має коротший дистальний шип (0,10–0,25 мм) та лише кілька шипів. Ці морфологічні особливості діють як «пастки» для агрегатів наночастинок CeO_2 , що призводить до більшого накопичення частинок на щитку *D. similis*. Під час плавання *D. similis* накопичені частинки утворювали «хмару» за дистальним шипом.

Наночастинки діоксиду церію (CeO_2 NPs) значно впливають на плавальну здатність обох досліджуваних видів дафній (*Daphnia similis* та *Daphnia pulex*), призводять до зниження швидкості плавання. Це свідчить про негативний вплив на локомоторні функції.

У дослідженні (Saalman et al., 2025) було детально вивчено вплив трьох інсектицидів (імідаклоприду, тіаклоприду та фіпронілу) на різні аспекти поведінки дафній.

Дослідники сфокусувалися на таких поведінкових кінцевих точках, з використанням цифрової системи відстеження “Zantiks MWP”. Локомоторні параметри (плавальна активність) урахували час активності та використання площі. Відсоток часу від загального спостереження, протягом якого дафнія активно рухалася, дозволив оцінити загальний рівень активності. Площа, яку дафнія охоплювала під час плавання, допомогла виявити аномальні траєкторії руху, як-от обертальні рухи. Ці параметри вимірювалися в темряві, щоб виключити вплив світла. Дослідження мало на меті встановити чутливі та застосовні поведінкові кінцеві точки, а також оцінити їхню чутливість до впливу інсектицидів за короткочасного (48 годин) і довгострокового (14 днів) впливу. Особлива увага приділялася ефектам покоління, досліджувались поведінкові зміни в новонароджених дафній покоління F1, що народилися від батьків, які перебували під впливом інсектицидів.

Поведінкові зміни спостерігалися за значно нижчих концентрацій інсектицидів і корот-

шому часі впливу порівняно із класичними кінцевими точками (імобілізація, розмноження), рекомендованими ОЕСР. У результаті експерименту виявлено, що статистично значущі поведінкові ефекти були у 20 разів нижчими для імідаклоприду, у 10 разів нижчими для тіаклоприду та у 156 разів нижчими для фіпронілу, ніж відповідні NOEC (концентрація, що не спричиняє спостережуваного ефекту) для імобілізації. Це підтверджує, що поведінкові реакції є чутливими сигналами раннього оповіщення про сублетальні ефекти забруднювачів.

Зміни в поведінці, як-от гіперактивність або порушення орієнтації, можуть впливати на пристосованість дафній, їхню здатність уникати хижаків, знаходити їжу та, зрештою, на виживання популяції та перенесення енергії в харчовій мережі. Це підкреслює важливість включення поведінкових кінцевих точок в оцінку екологічного ризику.

У статті (Di Nica et al., 2021) досліджено поведінкові реакції молодих *Daphnia magna* на вплив двох фосфорорганічних інсектицидів: хлорпірифосу (CPF) та хлорпірифос-метилу (CPF-m). У дослідженні оцінюються та порівнюються поведінкові реакції плавання (далі – BSRs) цих ракоподібних за впливу рівноефективних і сублетальних концентрацій обох сполук протягом різного часу експозиції. Використовувався відеомоніторинг (video tracking analysis) для оцінювання поведінкових реакцій. Вимірювання проводилися після 24 та 48 годин експерименту. Було оцінено такі поведінкові параметри, як пройдена відстань, середня швидкість, активний час і середнє прискорення. Автори описують зміни в поведінкових реакціях плавання дафній під впливом інсектицидів, зафіксовано значні зміни в поведінці під час плавання, які залежать від концентрації інсектицидів і тривалості.

Перші 24 години обидва інсектициди (хлорпірифос і хлорпірифос-метил) призводили до зниження плавальної активності (гіпоактивності). Хлорпірифос мав більш виражений ефект, ця гіпоактивність пов'язувалась з наркотичними ефектами інсектицидів.

За 48 годин спостерігалось зворотнє явище – збільшення параметрів плавання, особливо внаслідок вищих концентрацій. Хлорпірифос-метил, зокрема, спричиняв значні відхилення порівняно з контрольними групами. Це може бути пов'язано з активацією компенсаторних механізмів дафній, як-от посилене годування, пошукова поведінка або уникнення.

Було помічено, що BSRs є чутливими показниками сублетального стресу, демонструють зміни, що залежать від концентрації та часу. Обидві сполуки спричиняли зниження плавальної активності (гіпоактивність), до того ж CPF мав більш виражений ефект.

Результати свідчать, що поведінкові реакції плавання є вимірними активними відповідями організмів, на які впливає тривалентність впливу токсикантів.

Обговорення

Практичне значення досліджень поведінкових реакцій дафній полягає в розробленні швидких і ефективних методів моніторингу якості води. З огляду на ключову роль дафній у прісноводних харчових мережах, зміни в їхній поведінці під впливом забруднення мають каскадні наслідки для всієї екосистеми, впливають на доступність їжі та загальне функціонування водойм. Отже, вивчення локомоторних реакцій дафній є фундаментальним для розуміння екоотоксикологічних процесів і розроблення стратегій захисту водних ресурсів.

Наявна наукова література, де висвітлено екоотоксикологічний аналіз локомоторної активності дафній, характеризується значним розмаїттям методологічних підходів і тест-реакцій. Проте значна варіативність алгоритмів проведення цих тестів нині обмежує їх широке уніфіковане застосування. Подальше збільшення числа апробацій і верифікацій уже розроблених методів тестування сприятиме стандартизації експериментальних протоколів і підвищенню достовірності одержуваних даних, що забезпечить їхню надійність для практичного використання. Незважаючи на поточні методологічні виклики, існування численних високочутливих підходів для дослідження поведінкових патернів *Daphnia* у відповідь на широкий спектр хімічних речовин підкреслює значний потенціал цих організмів як біоіндикаторів токсичності довкілля та їх перспективне практичне застосування в екологічному моніторингу.

Для ефективного використання біологічних систем як інструменту раннього запобігання забрудненню води планується провести емпіричне дослідження. Метою цього дослідження є визначення специфічних «поведінкових профілів» живих організмів у відповідь на різні типи забруднень, зокрема на важкі метали, барвники, мікропластик і гербіциди. На основі отриманих результатів буде розроблено математичну модель. Ця

модель стане основою для цифрової системи відстеження забруднення води, яка дозволить оперативно виявляти небезпечні речовини в режимі реального часу.

Висновки

Отже, дослідження підкреслюють критичну роль забруднення поверхневих вод як глобальної проблеми, що деградує водні екосистеми та ставить під загрозу питне водопостачання. Основними джерелами цього забруднення є промислові, побутові та сільськогосподарські стоки, які спричиняють цілу низку негативних екологічних змін, зокрема евтрофікацію, зниження рівня розчиненого кисню та втрату біорізноманіття. Для ефективного оцінювання забруднення та його впливу на біотичні компоненти екосистем дафнії визнані ідеальною тест-моделлю в біотестуванні. Їхня висока чутливість до змін якості води, короткий життєвий цикл і легкість культивування роблять їх незамінними для оцінювання гострої та хронічної токсичності різноманітних забруднювальних речовин. Найважливішим аспектом, висвітленим в оглядових статтях, є чутливість поведінкових реакцій дафній до стресу. Зміни в їхній руховій активності, швидкості плавання, характері руху (наприклад, хаотичні або тонучі рухи) та вертикальному розподілі є надзвичайно чутливими показниками сублетального впливу забруднювачів. Ці поведінкові аномалії є важливими індикаторами стресового стану організмів і можуть бути використані для оцінювання токсичності й екологічного стану водних екосистем, такі зміни можуть бути виявлені задовго до того, як з'являться смертельні чи репродуктивні ефекти, що дозволяє використовувати дафній як алармну (сигнальну) систему раннього попередження для оцінювання токсичності водного середовища.

На основі викладеного було визначено необхідність розроблення ефективної системи раннього запобігання забрудненню води за допомогою біологічних систем. Заплановано проведення експериментальних досліджень, щоб установити, як саме окремі забруднювачі (важкі метали, барвники, мікропластик, гербіциди) впливають на рухову активність організмів, спричиняють унікальні поведінкові реакції. Отримані дані будуть використані для створення математичної моделі, яка ляже в основу цифрової системи моніторингу забруднень. Отже, кінцевий результат матиме практичне застосування.

Список використаної літератури

- Безсонний В.А. Використання ентропійного підходу в системах моніторингу водних ресурсів. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна*. Серія «Геологія. Географія. Екологія». 2023. Вип. (58). Р. 302–320. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-23>.
- Коніщук В.В., Шумидай І.В., Мартиненко В.В. Екологічний та гідрохімічний аналіз річок природного заповідника «Древлянський» (Україна). *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна*. Серія «Геологія. Географія. Екологія». 2023. Вип. 58. С. 336–349. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-25>.
- Котик С.Р. Зміни поведінкових реакцій *Daphnia spp.* при забрудненні води катіонами Купруму (II) та Феруму (II) : кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю «Біологія». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2021. 60 с.
- Крайнюкова А.М., Крайнюков О.М., Кривицька І.А. Вивчення залежності токсичного ефекту від часу контакту токсикантів з культурою водорості. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна*. Серія «Екологія». 2019. Вип. 21. С. 72–80. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2019-21-06>.
- Крайнюкова А.М., Крайнюков О.М., Кривицька І.А. Використання методик біотестування для оцінювання екологічного стану поверхневих вод. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна*. Серія «Екологія». 2021. Вип. 24. С. 103–116. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-09>.
- Крайнюкова А.М., Крайнюков О.М., Кривицька І.А. Використання фотосинтетичної активності водоростей задля оцінки токсичності з метою створення портативного пристрою. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна*. Серія «Екологія». 2020. Вип. 22. С. 82–92. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-08>.
- Крайнюков О.М., Кривицька І.А., Найдьонова О.Є. Алгоритм оцінюванню базового набору таксонів задля визначення їх ефективності. *Український журнал природничих наук*. 2024. Вип. 8. С. 252–269. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.8.2024.26>.
- Крайнюков О.М., Кривицька І.А., Крайнюкова А.М., Lineman M. Проблема оцінювання економічних наслідків хімічного забруднення поверхневих вод. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна*. Серія «Екологія». 2022. Вип. 26. Р. 89–101. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-26-08>.
- Мельничук М.М., Горбач В.В., Горбач Л.М. Особливості використання водних ресурсів Волинської області та їх екологічний стан у сучасних умовах. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна*. Серія «Геологія. Географія. Екологія». 2021. Вип. (54). Р. 306–315. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-23>.
- Шеляк Ю.С., Махневич Д.С., Солонько О.С. Фітопланктон малої річки як показник якості вод в умовах змін клімату та воєнних дій на території України. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 10. 286 с. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.10.2024.2>.
- Abe F.R., Machado A.L., Soares A.M.V.M., de Oliveira D.P., Pestana J.L.T. Life history and behavior effects of synthetic and natural dyes on *Daphnia magna*. *Chemosphere*. 2019. Vol. 236. Р. 124390. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124390>.
- Anggayasti W.L., Sudaryanti S., Pertiwi M., Nurjannah R.S.F., Sheviyandini T.Y., Suryatama J., Rubiyatadji R., Koentjoro M.P., Kurniawan A. Identifying the distribution and source of riverine plastic waste contamination: case study of Brantas River in Malang city. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 5 (10 (131)). Р. 37–44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.313830>.
- Artells E., Issartel J., Auffan M., Borschneck D., Thill A. et al. Exposure to Cerium Dioxide Nanoparticles Differently Affect Swimming Performance and Survival in Two Daphnid Species. *PLoS ONE*. 2013. № 8 (8). Р. e71260. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071260>
- Di Nica V., Rizzi C., Finizio A., Ferraro L., Villa S. Behavioural responses of juvenile *Daphnia magna* to two organophosphorus insecticides. *Journal Of Limnology*. 2022. Vol. 81. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2021.2015>.
- Kovalchuk I.P., Martyniuk V.O., Šeirienė V. The basin-landscape approach to the protection and condition optimization of the lakes of the national parks. *Visnyk of V N. Karazin Kharkiv National University*. Series “Geology. Geography. Ecology”. 2021. Vol. 53. Р. 239–254. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-18>
- Litynska M., Dontsova T., Yanushevska O., Tarabaka V. Development of iron-containing sorption materials for water purification from arsenic compounds. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 2 (10 (110)). Р. 35–42. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.230216>.

Loboda N., Daus M. Development of a method of assessment of ecological risk of surface water pollution by nitrogen compounds. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 5 (10 (113)). P. 15–25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.243058>.

Magester S., Barcelona A., Colomer J., Serra T. Vertical distribution of microplastics in water bodies causes sublethal effects and changes in *Daphnia magna* swimming behavior. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021. Vol. 228. P. 113001. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113001>.

Qin F., Zhao N., Yin G., Luo Y., Gan T. Toxicity Response and Swimming Speed Regularity in *Daphnia magna* After Short-Term Exposure to Diuron. *Toxics*. 2025. Vol. 13. № 5. P. 395. <https://doi.org/10.3390/toxics13050395>.

Roex W.M. et al. Reproductive Impairment in the Zebrafish, *Danio rerio*, upon Chronic Exposure to 1, 2, 3-Trichlorobenzene. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2001. Vol. 48. Issue 2. P. 196–201. <https://doi.org/10.1006/eesa.2000.2029>.

Saalmann V.F., Germing K., Ringbeck B., Kosak L.A., Eilebrecht E. Behavioral endpoints and generational effects in *Daphnia magna* upon short- and long-term exposure and their use as additional endpoint in ecotoxicological risk assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety : science direct Journals & Books*. 2025. Vol. 301. P. 118432. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118432>.

Sandbacka M. et al. The acute toxicity of surfactants on fish cells, *Daphnia magna* and fish – A comparative study. *Toxicology in Vitro*. 2000. Vol. 14. Issue 1. P. 61–68. [https://doi.org/10.1016/S0887-2333\(99\)00083-1](https://doi.org/10.1016/S0887-2333(99)00083-1).

Shykhaleyeva G.M., Kiryushkina G.M. Accumulation of heavy metals (Cu, Cr, Pb, Cd) in aquatic invertebrates from the hyperhaline Kuyalnyk estuary (Ukraine, North-Western Black Sea region). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series “Ecology”*. 2025. Vol. 32. P. 124–133. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-09>.

References

Bezsonnyi, V. (2023). Viktoristannya entropiyного pidhodu v sistemah monitoringu vodnih resursiv [Use of the entropy approach in water resource monitoring systems]. *Visnik Harkivskogo natsionalnogo universitetu imeni V.N. Karazina. Seriya “Geologiya. Geografiya. Ekologiya” [Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology]*, 58, 302–320. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-23> [in Ukrainian].

Konishchuk, V., Shumyhai, I., & Martynenko, V. (2023). Ekologichniy ta gidrohimichniy analiz richok prirodnoho zapovidnika “Drevlyanskiy” [Ecological and hydrochemical analysis of the rivers Drevlyanskiy] nature reserve (Ukraine). *Visnik Harkivskogo natsionalnogo universitetu imeni V.N. Karazina. Seriya “Geologiya. Geografiya. Ekologiya” [Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology]*, 58, 336–349. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-25> [in Ukrainian].

Kotyk, S.R. (2021). Zmini povedinkovih reaktsiy *Daphnia* spp. pri zabrudnenni vodi kationami Kuprumu (II) ta Ferumu (II) [Changes in behavioral reactions of *Daphnia* spp. when water is contaminated with copper (II) and iron (II)] *kvalifikatsiyna robota magistra za spetsialnistyu “Biologiya” / Kotyk S.R.; kerivnik: Gorohovskiy E.Yu. Zaporizhzhya: Zaporizkiy natsionalniy universitet [cations: master’s thesis in the specialty “Biology” / Kotyk S.R.; supervisor: Gorokhovskiy E.Yu. Zaporizhzhia: Zaporizhzhya National University]*, 60 p. [in Ukrainian].

Krainiukova, A.M., Krainiukov, O.M., & Kryvytska, I.A. (2019). Vivchennya zalezhnosti toksichnogo efektu vid chasu kontaktu toksikantiv z kulturoyu vodorosti [Studying the Dependence of the Toxic Effect on the Time of the Toxicant’s Contact with the Algae Culture]. *Visnik Harkivskogo natsionalnogo universitetu imeni V.N. Karazina. Seriya “Geologiya. Geografiya. Ekologiya” [Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology]*, 21, 72–80. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2019-21-06> [in Ukrainian].

Krajnjukova, A.M., Krajnjukov, O.M., & Kryvytska, I.A. (2021). Viktoristannya metodik biotestuvannya dlya otsinyuvannya ekologichnogo stanu poverhnevih vod [The use of biotesting techniques to assess the ecological status of surface waters]. *Visnik Harkivskogo natsionalnogo universitetu imeni V.N. Karazina. Seriya “Geologiya. Geografiya. Ekologiya” [Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology]*, 24, 103–116. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-09> [in Ukrainian].

Krainyukova, A.M., Krainyukov, O.M., & Krivitska, I.A. (2020). Viktoristannya fotosintetichnoyi aktivnosti vodorostey zadlya otsinki toksichnosti z metoyu stvorenniya portativnogo pristroyu [Victimization of photosynthetic activity of algae to assess toxicity using a portable device]. *Visnik*

Harkivskogo natsionalnogo universitetu imeni V.N. Karazina. Seriya "Geologiya. Geografiya. Ekologiya" [Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology], 22, 82–92. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-08> [in Ukrainian].

Krainyukov, O., Krivitska I., & Naidyonova O. (2024). Algoritm otsynuyvannyu bazovogo naboru taksoniv zadlya viznachennya yih efektyvnosti [Algorithm for evaluating a basic set of taxa to determine their effectiveness]. *Ukrayinskiy zhurnal prirodnichih nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 8, 252–269. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.8.2024.26> [in Ukrainian].

Krainiukov, O.M., Kryvytska, I.A., Krainiukova, A.M., & Lineman, M. (2022). Problema otsynuyvannya ekonomichnih naslidkiv himichnogo zabrudnennya poverhnevih vod [The problem of assessing the economic consequences from chemical pollution of surface water]. *Visnik Harkivskogo natsionalnogo universitetu imeni V.N. Karazina. Seriya "Geologiya. Geografiya. Ekologiya" [Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology]*, 26, 89–101. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-26-08> [in Ukrainian].

Melniychuk, M., Gorbach, V., Gorbach, L. (2021). Osoblivosti vikoristannya vodnih resursiv Volynskoyi oblasti ta yih ekologichnyi stan u suchasnih umovah [The peculiarities of using water resources at the Volyn region and their ecological state in the modern conditions]. *Visnik Harkivskogo natsionalnogo universitetu imeni V.N. Karazina. Seriya "Geologiya. Geografiya. Ekologiya" [Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology]*, 54, 306–315. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-23> [in Ukrainian].

Shelyuk, Yu.S., Makhnevich, D.S., Solonko, O.S. (2024). Fitoplankton maloyi richki yak pokaznik yakosti vod v umovah zmin klimatu ta voennih diy na teritoriyi Ukrayini [Phytoplankton of a small river as an indicator of water content in the aftermath of climate change and military operations on the territory of Ukraine]. *Ukrayinskiy zhurnal prirodnichih nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 10, 286 p. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.10.2024.2> [in Ukrainian].

Abe, F.R., Machado, A.L., Soares, A.M.V.M., de Oliveira, D.P., & Pestana, J.L.T. (2019). Life history and behavior effects of synthetic and natural dyes on *Daphnia magna*. *Chemosphere*, 236, 124390. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124390> [in English].

Anggayasti, W.L., Sudaryanti, S., Pertiwi, M., Nurjannah, R.S.F., Sheviyandini, T.Y., Suryatama, J., Rubiyatadji, R., Koentjoro, M., & Kurniawan, A. (2024). Identifying the distribution and source of riverine plastic waste contamination: case study of Brantas River in Malang city. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (10 (131)), 37–44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.313830> [in English].

Artells, E., Issartel, J., Auffan, M., Borschneck, D., & Thill, A., et al. (2013). Exposure to Cerium Dioxide Nanoparticles Differently Affect Swimming Performance and Survival in Two Daphnid Species. *PLoS ONE*, 8 (8), e71260. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071260> [in English].

Di Nica, V., Rizzi, C., Finizio, A., Ferraro, L., & Villa, S. (2022). Behavioural responses of juvenile *Daphnia magna* to two organophosphorus insecticides. *J. Limnol.* 81: 2015. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2021.2015> [in English].

Kovalchuk, I.P., Martyniuk, V.O., & Šeirienė, V. (2020). The basin-landscape approach to the protection and condition optimization of the lakes of the national parks. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology*, 53, 239–254. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-18> [in English].

Litynska, M., Dontsova, T., Yanushevska, O., & Tarabaka, V. (2021). Development of iron-containing sorption materials for water purification from arsenic compounds. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (110)), 35–42. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.230216> [in English].

Loboda, N., & Daus, M. (2021). Development of a method of assessment of ecological risk of surface water pollution by nitrogen compounds. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (10 (113)), 15–25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.243058> [in English].

Magester, S., Aina Barcelona, A., Colomer, J., Serra, T. (2021). Vertical distribution of microplastics in water bodies causes sublethal effects and changes in *Daphnia magna* swimming behavior. *Ecotoxicology and Environmental Safety : science direct Journals & Books*, 228, 113001, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113001> [in English].

Qin, F., Zhao, N., Yin, G., Luo, Y., & Gan, T. (2025). Toxicity Response and Swimming Speed Regularity in *Daphnia magna* After Short-Term Exposure to Diuron. *Toxics*, 13 (5): 395. <https://doi.org/10.3390/toxics13050395> [in English].

Roex, W.M., et al. (2001). Reproductive Impairment in the Zebrafish, *Danio rerio*, upon Chronic Exposure to 1, 2, 3-Trichlorobenzene. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 48 (2), 196–201. <https://doi.org/10.1006/eesa.2000.2029> [in English].

Saalmann, V.F., Germing, K., Ringbeck, B., Kosak, L.A., Eilebrecht, E. (2025). Behavioral endpoints and generational effects in *Daphnia magna* upon short- and long-term exposure and their use as additional endpoint in ecotoxicological risk assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety: science direct Journals & Books*, 301, 118432, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118432> [in English].

Sandbacka, M., et al. (2000). The acute toxicity of surfactants on fish cells, *Daphnia magna* and fish – A comparative study. *Toxicology in Vitro*, 14 (1), 61–68. [https://doi.org/10.1016/S0887-2333\(99\)00083-1](https://doi.org/10.1016/S0887-2333(99)00083-1) [in English].

Shykhaleyeva, G.M., & Kiryushkina, G.M. (2025). Accumulation of heavy metals (Cu, Cr, Pb, Cd) in aquatic invertebrates from the hyperhaline Kuyalnyk estuary (Ukraine, North-Western Black Sea region). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, 32, 124–133. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-09> [in English].

Отримано: 24.07.2025

Прийнято: 28.08.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 543.3:631.41:504.5 (477)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.36>

ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТАХ, ТРАНСФОРМОВАНИХ У РЕЗУЛЬТАТІ ВИБУХІВ

І. П. Онищук¹, О. Ю. Кичкирук², А. М. Гаврилова³

Сучасна екологічна ситуація в Україні значно ускладнилася внаслідок повномасштабної війни, що триває із 2022 року. Одним з актуальних напрямів сучасних досліджень є вивчення наслідків бойових дій для стану навколишнього середовища, зокрема – рівня забруднення ґрунтів токсичними елементами. Особливу небезпеку становлять важкі метали, які вивільняються в довкілля внаслідок вибухів боєприпасів, руйнування військової техніки, складів з боєприпасами, хімічних об'єктів та інфраструктури. Беручи до уваги високу мобільність та стійкість таких забруднень, дослідження їхнього вмісту у ґрунтах бойових зон має надзвичайно велике значення з погляду як екологічного моніторингу, так і збереження здоров'я населення.

Метою роботи є визначення вмісту іонів важких металів (Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Co) у зразках ґрунтів, відібраних з території, де сталися вибухи бойових снарядів, з подальшим оцінюванням рівня забруднення та потенційних екологічних ризиків. Для реалізації поставленої мети було застосовано сучасні аналітичні методи: атомно-абсорбційну спектроскопію (ААС) для кількісного визначення металів, потенціометричний метод вимірювання рН і ваговий аналіз для додаткової характеристики проб. Робились кислотні витяжки для отримання рухомих форм металів, що дозволяє оцінити їхню доступність для біоти.

У результаті проведених вимірювань встановлено, що окремі зразки ґрунту мають перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) для таких металів, як свинець, кадмій і мідь.

Натомість концентрації нікелю, цинку та кобальту виявилися на рівні, значно нижчому за встановлені нормативи. Деякі проби не містили слідів окремих металів, що свідчить про неоднорідність забруднення та значний вплив локальних чинників.

Наукова новизна роботи полягає в дослідженні конкретного впливу бойових дій на кількісний вміст іонів важких металів у ґрунті на обмеженій території, де зафіксовані вибухи. Результати підтвер-

¹ 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

² кандидат хімічних наук, доцент,
доцент кафедри хімії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: kychkyruk-o@zu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-0558-1647

³ здобувач вищої освіти
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: Zahorodnia-A@zu.edu.ua
ORCID: 0009-0006-9728-5824

джують припущення про мобілізацію важких металів унаслідок воєнних дій і формують базу для порівняння з фоновими показниками в інших регіонах. Практична значущість дослідження полягає в можливості використання отриманих даних для екологічного моніторингу, оцінювання ризиків для здоров'я населення, а також для розроблення заходів щодо рекультивациі забруднених територій. Отримані результати доповнюють існуючі наукові дані щодо впливу війни на довкілля в Україні, зокрема – роботи, виконані у Дніпропетровській, Миколаївській і Херсонській областях, де було також зафіксовано локальне перевищення вмісту токсичних металів у ґрунтах. Отже, представлена робота є внеском у формування сучасного розуміння наслідків воєнної екологічної катастрофи та слугує підґрунтям для подальших досліджень у цьому напрямі.

Ключові слова: важкі метали, ґрунт, бойові дії, екологічний моніторинг, атомно-абсорбційна спектроскопія, токсичні елементи, кислотна витяжка, забруднення довкілля.

DETERMINATION OF HEAVY METAL ION CONTENT IN SOILS TRANSFORMED AS A RESULT OF EXPLOSIONS

I. P. Onyshchuk, O. Y. Kychkyruk, A. M. Havrylova

The current environmental situation in Ukraine has significantly deteriorated due to the full-scale war that began in 2022. One of the urgent areas of modern research is the study of the consequences of military actions on the environment, particularly the level of soil contamination with toxic elements. Of special concern are heavy metals released into the environment as a result of explosions of ammunition, destruction of military equipment, ammunition depots, chemical facilities, and infrastructure. Given the high mobility and persistence of such pollutants, research into their concentrations in soils of combat zones is extremely important both for environmental monitoring and public health protection.

The aim of this study is to determine the concentrations of heavy metal ions (Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Co) in soil samples collected from areas affected by explosions of military ordnance and to assess the contamination levels and potential ecological risks. To achieve this objective, modern analytical methods were used: atomic absorption spectroscopy (AAS) for quantitative metal determination, potentiometric pH measurement, and gravimetric analysis for additional sample characterization. Soil samples were subjected to acid extraction to obtain mobile metal forms, which reflects their bioavailability.

The analytical results showed that certain soil samples exceeded the maximum permissible concentrations (MPCs) for lead, cadmium, and copper. In contrast, nickel, zinc, and cobalt concentrations remained significantly below regulatory limits. Some samples showed no detectable levels of specific metals, reflecting the heterogeneity of contamination and the strong influence of local factors.

The scientific novelty of the study lies in the assessment of the specific impact of military activities on the quantitative content of heavy metal ions in soil within a defined area affected by explosions.

The results confirm the hypothesis regarding the mobilization of heavy metals due to warfare and provide a basis for comparison with background levels in other regions. The practical significance of the research lies in the potential use of the data for environmental monitoring, health risk assessment, and the development of measures for the remediation of contaminated areas.

The findings contribute to the existing body of knowledge on the environmental consequences of warfare in Ukraine, complementing previous studies conducted in Dnipropetrovsk, Mykolaiiv, and Kherson regions, where localized exceedances of toxic metal concentrations in soils were also observed. Therefore, this work adds to the understanding of the environmental impacts of war and serves as a foundation for further research in this field.

Key words: heavy metals, soil, military actions, environmental monitoring, atomic absorption spectroscopy, toxic elements, acid extraction, environmental pollution.

Вступ

В умовах сучасних воєнних конфліктів забруднення довкілля бойовими речовинами стає актуальним питанням екологічної безпеки в багатьох регіонах планети. Вивчення наслідків застосування різних вибухових речовин та їх потрапляння в повітря, ґрунти та воду сприяє розробленню екологічних стратегій відновлення постраждалих територій та запобіганню подальшої деградації природного середовища.

Сучасні екологічні проблеми численні, мають різні етіологію, ступінь вивчення та вирішення, проте питання впливу саме вибухових речовин, які використовують у складі бойових частин безпілотного літального апарата (далі – БпЛА) “Shahed-136” та керованих ракет, зокрема Х-22, Х-101, на ґрунтові процеси залишається не досить дослідженим з деяких причин. По-перше, вибухи спричиняють утворення вирв, ущіль-

нення ґрунту та зміни його структури, що значно ускладнює відбір релевантних проб, оскільки ґрунт у зоні вибуху може бути змішаним із глибшими шарами або мати нерівномірний склад. По-друге, вибухові речовини містять токсичні компоненти, як-от важкі метали, нітрати та залишки органічних сполук (гексогену, октогену й інших). Їх виявлення та встановлення рівня забруднення ними потребують складних лабораторних аналізів, а також порівняння з контрольними зразками. По-третє, відбір проб є проблематичним і небезпечним процесом для дослідників, оскільки зони вибухів можуть містити нерозірвані боєприпаси та залишки токсичних речовин, що створює безпекові ризики. Проведення польових робіт з відбору проб потребує спеціального дозволу та супроводу спеціальних служб. По-четверте, стан ґрунту в зоні вибуху змінюється із часом: відбуваються природне осідання, вимивання забруднень та поступове відновлення, а це ускладнює довгостроковий моніторинг і потребує регулярного збору даних.

Воєнні дії на території України мають далекосяжні наслідки. Зокрема, Україна є однією з найбільших аграрних держав світу, тому збереження родючості ґрунтів має стратегічне значення. Вивчення наслідків впливу бойових дій на стан ґрунтів, як надважливого компоненту екосистем, допоможе розробити ефективні механізми рекультиваци та ремедіації сільськогосподарських угідь та підтримки продовольчої безпеки у країні й у світі. Токсичні залишки вибухових речовин, які проникають у ґрунтові води, включаються в ланцюги живлення, створюють довгострокові ризики для здоров'я людей і біорозмаїття екосистем. Науковий аналіз допоможе оцінити потенційні загрози та розробити ефективні заходи захисту здоров'я людей і збереження біорозмаїття. Окрім того, отримання об'єктивних результатів дослідження стану ґрунтів, які зазнали змін унаслідок вибухів, має правові та міжнародні аспекти, бо ці результати можуть стати важливим аргументом у міжнародних судах і переговорах щодо екологічної компенсації. Це підвищує значущість таких досліджень не лише в науковій, а й у правовій площині.

Тривалі активні бойові дії є причиною формування локалізованих воєнно-технологічних геохімічних аномалій. Ці аномалії характеризуються: ущільненням, змішуванням ґрунтових горизонтів і утворенням

кратерів, що змінює та ускладнює природні процеси ґрунтоутворення; високою концентрацією важких металів (у зонах вибухів бойових частин БпЛА, снарядів і авіабомб часто фіксується підвищений вміст свинцю, кадмію, ртуті, миш'яку й інших токсичних елементів); зниженнями або підвищеннями рН ґрунтового розчину, що впливає на його родючість та здатність до відновлення. Усі ці особливості в сумі прогнозовано зумовлять довгострокове обмеження або цілковиту заборону на використання земельних ресурсів у сільськогосподарській, промисловій, природоохоронній, рекреаційній галузях.

Вибухові процеси є одними зі значущих факторів надходження токсичних речовин, зокрема важких металів, у ґрунти. Загалом вибухові пристрої (артилерійські снаряди, міни, гранати, КАБи, ракети різного типу, бойові частини Shahed-136) забруднюють ґрунт металами Cu, Fe, Al, Mn, Sn, Mg, Pb, Zn, Hg, Cd, Cr, нафтопродуктами (Сплодитель, 2023). Сучасні моделі бойових зарядів містять тротил, гексоген, окфол або їхні суміші, що забезпечують високу потужність вибуху, а також алюмінієві порошки, які застосовуються для посилення вибухової хвилі та термобаричних ефектів, нітрати та перхлорати, що можуть використовуватися як окислювачі у складі вибухових сумішей.

Наприклад, детонація 115-мм осколково-фугасної бомби з гексогеном супроводжується утворенням приблизно 4000 л газоподібних продуктів згорання. До 30% цих газів диспергує в атмосфері, тоді як значна частина, зокрема й важкі фракції та важкі метали, акумулюється у ґрунті.

Аналіз проб ґрунту, відібраних у зонах систематичних артилерійських обстрілів, демонструє високий вміст іонів свинцю (Pb^{2+}) та міді (Cu^{2+}) у ґрунтовому розчині. Вибухові гранати різного типу також є важливим чинником підвищення концентрації свинцю у ґрунтах (Hlavatskyi et al., 2024; Мацера, 2025).

Метою дослідження є визначення вмісту іонів важких металів у ґрунтах після вибухів бойових снарядів для оцінювання рівня забруднення та потенційних екологічних ризиків. Основними завданнями дослідження є:

- ідентифікація панівних важких металів (Pb, Cd, Cu, Zn та інших), що потрапляють у ґрунт після детонації;
- проведення аналізу концентрації іонів (зокрема, Pb, Cd, Cu, Ni, Zn) у різних ґрунтових горизонтах для оцінювання глибини проникнення забруднення;

- оцінювання впливу вибухових речовин на фізико-хімічні характеристики ґрунту;
- розроблення рекомендацій щодо моніторингу та ремедіації забруднених територій.

Матеріал і методи

Для дослідження використовували об'єднані змішані проби ґрунту, відібрані на території Житомирської області в місцях вибухів, спричинених ударними безпілотними літальними апаратами (БпЛА типу "Shahed-136") і ракетами Х-22, Х-101. Ґрунтові зразки відбиралися з поверхневого шару вибухової вибуви та із глибини 20 см на семи майданчиках (табл. 1). Відбір проб проводився відповідно до стандартних методик, з урахуванням просторової варіабельності забруднення. Проби відбиралися у випадково визначених точках вирув і прилеглої до них території, що дозволило забезпечити репрезентативність даних.

Таблиця 1
Перелік локацій, використаних для відбору проб ґрунтів

№ проби	Джерело ураження
П1	БпЛА типу "Shahed"
П2	БпЛА типу "Shahed"
П3	Керовані ракети
П4	БпЛА типу "Shahed"
П5	Керовані ракети
П6	БпЛА типу "Shahed" і керовані ракети
П7	БпЛА типу "Shahed"
П8	Контрольна

Для забезпечення репрезентативності, особливо в дослідженні великих ділянок або територій з потенційним забрудненням, формуються змішані зразки. Це передбачає відбір низки точкових проб (зазвичай від 10 до 20) з рівномірно розподілених ділянок у межах одного гомогенного контуру (наприклад, поля, ділянки в парку, умовно однорідної зони забруднення). Точкові проби ретельно перемішуються, з отриманої маси відбирається усереднений (змішаний) зразок вагою 0,5–1,0 кг. Використання спеціального інструментарію (ґрунтових бурів або лопат) забезпечує відбір проби по всій необхідній глибині без перемішування шарів. Після відбору зразки поміщаються в чисту тару (поліетиленові пакети або тканинні мішки), маркуються із зазначенням номера проби, дати відбору, місця та глибини, транспортуються до лабораторії (ДСТУ ISO 11047:2005).

Ґрунтові зразки для дослідження відбиралися із глибини 20 см і з поверхневого шару різних зон вирув (загалом проведено аналіз 40 змішаних об'єднаних проб ґрунту). У лабораторії зразки висушували до повітряно-сухого стану, очищали від сторонніх включень (каміння, рослинних решток) та подрібнювали, просіюючи через сито з отворами 1 мм для подальших хімічних аналізів.

Для підготовки витяжки за методикою (Набиванець та ін., 1996) зважували 10,00 г підготовленого й просіяного ґрунту, вносили в конічні колби та додавали 100 мл 1 М розчину нітратної кислоти. Суміш струшували в горизонтальному шейкері протягом 1 години за кімнатної температури. Після цього фільтрували через паперовий фільтр.

Визначення вмісту металів методом атомно-абсорбційної спектроскопії здійснювали на атомно-абсорбційному спектрофотометрі С-115ПК. Атомізацію виконували полум'яним способом, з використанням суміші ацетилен – повітря, з відповідною довжиною хвилі для кожного металу: Pb – 283,3 нм, Cd – 228,8 нм, Cu – 324,7 нм, Ni – 232,1 нм, Zn – 213,9 нм, Co – 240,7 нм. Вміст металів у пробах визначали за калібрувальними графіками, які будувались за стандартними розчинами з відомою концентрацією відповідних металів. Усі вимірювання проводили у трьох повтореннях, з урахуванням хлостих проб.

Результати визначення вмісту іонів металів у відібраних пробах ґрунтів виражали у мг/кг повітряно-сухого ґрунту. Вміст рухомих форм порівнювали із гранично допустимими концентраціями (далі – ГДК) згідно з державними нормами та з результатами контрольної проби – неуразеної ділянки ґрунту. Для визначення вмісту іонів важких металів у ґрунтових зразках, відібраних з територій, що зазнали впливу вибухів бойових зарядів, було застосовано методи кількісного аналізу, зокрема атомно-абсорбційну спектроскопію та ваговий аналіз.

Контроль рН витяжки здійснювали з використанням потенціометричного аналізу, щоб оцінити реакцію ґрунтового середовища та можливість мобільності металів. Використовували рН-метр "PH800 Benchtop pH Meter" фірми "Apera" (USA) з попереднім калібруванням буферними розчинами (рН = 4,00 та рН = 7,00).

Для отримання об'єктивних результатів кислотності ґрунтів проводили три види аналізів, зокрема визначали: активну, обмінну та гідролітичну кислотність. Активну кислотність оці-

нювали шляхом підготовки водної витяжки: наважку повітряно-сухого ґрунту масою 6,00 г заливали 30 мл дистильованої води, перемішували на шейкері протягом 20 хвилин, після чого відбирали порцію розчину над осадом і вимірювали рН (Набиванець та ін., 1996).

Обмінну кислотність встановлювали в сольовій витяжці, з використанням 1 М розчину КСІ. Наважку ґрунту масою 20,00 г заливали 50 мл 1 М розчину КСІ, перемішували протягом 15 хвилин і вимірювали рН у витяжці (Набиванець та ін., 1996).

Гідролітичну кислотність визначали на основі сольової витяжки, яку готували відповідно до методики (Набиванець та ін., 1996). Для цього наважку повітряно-сухої проби ґрунту масою 40,00 г заливали 100 мл 1 М розчину натрій ацетату, перемішували на шейкері протягом 30 хвилин, після чого отриманий розчин пропускали через паперовий фільтр. П'ятдесят мілілітрів прозорого фільтрату титрували 0,1 М розчином NaOH у присутності фенолфталеїну до появи блідо-рожевого забарвлення. Гідролітичну кислотність ґрунту (далі – Н(гідр)) розраховували за формулою:

$$H(\text{гідр}) = \frac{C(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH})}{V(\text{сольової витяжки})} \times 1,75,$$

де $V_{(\text{NaOH})}$ – об'єм розчину, який витратили на титрування 50 мл ґрунтової витяжки; $C_{(\text{NaOH})}$ – концентрація розчину для титрування; 1,75 – коефіцієнт перерахунку повної гідролітичної кислотності на 1 кг ґрунту (Набиванець та ін., 1996).

Ваговий аналіз використовувався як допоміжний метод для зважування зразків.

Коефіцієнт забруднення (далі – K_z) ґрунту розраховують по-різному, за сферами застосування. Зазвичай K_z показує ступінь перевищення фактичного рівня забруднення над нормативом. У нашому випадку коефіцієнт забруднення розраховували як $K_z = F_z/N$, де F_z – фактичний рівень забруднення; N – нормативний рівень забруднення.

Використані методики дозволили забезпечити комплексний підхід до оцінювання стану ґрунтів, які зазнали впливу вибухових пристроїв та їх детонації. Поєднання хімічних, фізико-хімічних методів дослідження дозволило отримати репрезентативні результати, необхідні для аналізу впливу техногенного навантаження на екосистеми.

Результати

У результаті проведених досліджень було встановлено, що кислотність ґрунтового покриву в межах ураження детонаційними процесами варіює залежно від просторового розташування пробовідбірних майданчиків. Дані щодо активної, обмінної та гідролітичної кислотності ґрунтів наведені в таблиці 2.

Активна кислотність (рН водної витяжки), яка визначає концентрацію водневих іонів у ґрунтовому розчині, була в діапазоні рН = 6,10–7,41. Це свідчить про нейтральний або слаболужний характер ґрунтового середовища в досліджених пробах із зон ураження. Найменше значення рН було зафіксовано на майданчику П8 (контрольна проба) – 6,10. Максимальний рівень активної кислотності спостерігався на майданчику П5 (зона ураження керованою авіаційною ракетою) – 7,35, що може бути пов'язано з особливостями взаємодії складників ґрунту з детонуючими вибуховими речовинами.

Показники обмінної кислотності (рН сольової витяжки) у досліджуваних пробах П1 – П7 були в межах 6,71–7,28, що свідчить про досить стабільний стан ґрунтового буферного комплексу. Найвищі значення рН обмінної кислотності зафіксовано на майданчику П2 (рН = 7,28), що може свідчити про здатність ґрунту до нейтралізації кислотних компонентів. Найменше значення обмінної кислотності спостерігалось на ділянці П8 (рН = 4,87), що може свідчити про більший вміст рухомих кислотних форм

Таблиця 2

Показники активної і потенційної кислотності ґрунтових проб досліджуваної території

№ проби	Активна кислотність, рН	Обмінна кислотність, рН	Гідролітична кислотність, ммоль Н ⁺ /кг
П1	7,32	6,71	0,00083
П2	7,32	7,28	0,00055
П3	7,26	7,00	0,00069
П4	7,27	7,11	0,00083
П5	7,35	7,00	0,00097
П6	7,41	7,10	0,00097
П7	7,25	7,22	0,00055
П8	6,10	4,87	0,00138

або потенційну мобільність важких металів у ґрунті, який не зазнав руйнівного впливу детонаційних процесів вибухових речовин і процесу горіння.

Гідролітична кислотність, що характеризує здатність до сорбційного накопичення іонів водню порушених ділянок ґрунтів, коливалася в межах 0,00055–0,00097 ммоль Н⁺/кг. Найвищий рівень гідролітичної кислотності був зафіксований у пробах з дослідних майданчиків П5 та П6 (де мало місце ураження керованими ракетами) – 0,00097 ммоль Н⁺/кг, що може бути свідченням активної деградації ґрунту або підвищеного рівня його виснаження. Найвищий рівень гідролітичної кислотності встановлено для майданчика П8 – 0,00138 ммоль Н⁺/кг, що може вказувати на низьку кислотність ґрунту, що зазвичай характерно для нейтральних або слабкокислих ґрунтів. Це означає, що ґрунт на майданчику П8 має стабільні умови для росту рослин, але його хімічний склад ще потрібно аналізувати комплексно.

Отримані результати свідчать про те, що ґрунти в межах досліджених ділянок, які зазнали порушення внаслідок вибухів з подальшим горінням, не мають значних відхилень у кислотності від норми, проте такі коливання кислотності в порівнянні з контрольною ділянкою можуть свідчити про зміни хімічного складу ґрунту внаслідок детонації боєприпасів. Зокрема, утворення оксидів азоту та сірки, які можуть взаємодіяти з водою та утворювати слабкі кислоти; порушення балансу мінералів і органічних речовин; наявність важких металів або залишків вибухових речовин. Усі досліджені параметри перебувають у межах оптимальних значень для більшості природних ґрунтів із слабкокислим і слаболужним середовищем.

Отримані результати вмісту іонів важких металів дозволяють оцінити ступінь забруднення ґрунтового покриву та визначити просторові закономірності накопичення важких металів залежно від ступеня антропогенного втручання. У таблиці 3 наведено концентрації досліджуваних металів у відібраних пробах.

Умови проведення аналізу. Наважка ґрунту – 10 г, об'єм розчину – 100 мл, час контакту – 1 год. Для оцінювання рівня забруднення отримані результати порівнювалися з нормативами гранично допустимих концентрацій (ГДК), затвердженими постановою Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2021 р. № 1325 «Про затвердження нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також переліку таких речовин» (Кабінет ..., 2021).

Кадмій (Cd²⁺) був виявлений у П2 (0,20 мг/кг), П3 (0,02 мг/кг) і П6 (0,24 мг/кг), що не перевищує ГДК, яка становить 0,7 мг/кг (див. табл. 3). Нульові значення у П1, П4, П5 та П8 свідчать про відсутність забруднення або нижчий за межу виявлення вміст рухомих іонів Cd²⁺. Єдине перевищення ГДК зафіксовано у П7 (4,3 мг/кг), що вказує на надзвичайне забруднення кадмієм у цій локації – у 6,14 рази. Оскільки точно відомо, що ґрунт у цій локації зазнав техногенного забруднення внаслідок падіння і подальшої детонації БпЛА (вибухи боєприпасів, залишки корпусу).

Таблиця 3

Результати атомно-абсорбційного визначення вмісту іонів металів у пробах ґрунтів

Вміст йонів, мг/кг	Cd [*] , **	Pb ^{*, ***, ****}	Cu	Zn [*]	Co	Ni ^{*, **}
ГДК, мг/кг, рухома форма	0,70	6,00	3,00	23,00	5,00	4,00
П1	0,00	3,20	3,95	3,31	32,57	7,30
П2	0,20	559,50	13,60	27,80	98,81	9,80
П3	0,02	15,05	20,35	21,19	46,30	5,20
П4	0,00	33,40	65,25	13,82	72,68	8,55
П5	0,00	9,05	22,3	5,10	66,36	8,25
П6	0,24	25,60	10,9	14,40	72,68	8,90
П7	4,30	315,25	41,45	26,26	43,62	8,25
П8	0,00	0,00	0,00	3,20	5,10	0,75

Примітка. Характеристика шкідливих хімічних речовин за характером дії на організм людини: * – канцерогенні (бластомогенні) сполуки: плумбум (Pb), цинк (Zn), нікель (Ni); ** – сенсibiliзуючі хімічні речовини або алергени (нікель (Ni)); *** – мутагенні речовини (плумбум (Pb)); **** – проявляє репродуктивну токсичність (плумбум (Pb)).

Рухомі форми іонів Pb^{2+} виявили в усіх зразках, окрім П8 (контрольний зразок). У П1 (3,2 мг/кг) концентрація іонів Pb^{2+} не перевищує ГДК. Тоді як у П3 (15,05 мг/кг), П4 (33,4 мг/кг), П5 (9,05 мг/кг) та П6 (25,6 мг/кг) фіксується суттєве перевищення ГДК. Вміст Pb^{2+} у пробах із локацій П2 (559,5 мг/кг) та П7 (315,25 мг/кг) перевищує допустимі концентрації в 93,25 та 52,5 рази відповідно. Такі концентрації свідчать про серйозне техногенне забруднення, зумовлене вибухом БпЛА, який цілком може бути джерелом локального забруднення свинцем, особливо якщо в його конструкції або боєприпасах використовувалися свинцево-вмісні матеріали (свинцеві кулі, шрапнель або оболонки). Під час вибуху ці матеріали розпорошуються у формі аерозолів, пилу або уламків, які осідають у ґрунті. Якщо БпЛА оснащений свинцево-кислотними акумуляторами, під час вибуху можливе вивільнення свинцю у формі оксидів або електроліту. У деяких випадках свинець може бути присутній у фарбах, припоях, стабілізаторах пластмас, які під час горіння або вибуху утворюють токсичні сполуки. Таке гостре локальне забруднення свинцем може свідчити про те, що змішана проба відбиралась безпосередньо з епіцентру вибуху БпЛА.

Перевищення концентрації рухомої форми іонів міді (Cu^{2+}) виявили в усіх змішаних пробах, окрім контрольної П8. Максимальний вміст відмічено у П4 (65,25 мг/кг), що перевищує ГДК для міді (3 мг/кг) у 21,75 рази. В інших пробах вміст Cu^{2+} коливається від 3,95 до 41,45 мг/кг (табл. 3), що може свідчити про локальне техногенне забруднення, пов'язане з вибухом або руйнуванням конструкцій БпЛА.

Активні іони цинку (Zn^{2+}) виявили в усіх досліджуваних пробах, причому його концентрації коливаються від 3,20 (нижче ГДК, тобто в межах норми) до 27,80 мг/кг (перевищує ГДК на $\approx 21\%$). У змішаних пробах П2 (27,80 мг/кг) та П7 (26,26 мг/кг) визначили перевищення ГДК в 1,21 та 1,14 рази відповідно. У пробі П3 (21,19 мг/кг) концентрація іонів близька до ГДК, але не перевищує її. В інших пробах вміст Zn^{2+} залишається в межах допустимого рівня. Підвищений вміст цинку у П2 та П7 свідчить про локальне техногенне забруднення, що, імовірно, пов'язане з вибухом або розпадом конструкцій БпЛА, які могли містити сплави, фарби або елементи електроніки із вмістом цинку. Водночас нерівномірність розподілу Zn^{2+} у пробах вказує на плямистий

характер забруднення. Середньозважений фоновий вміст рухомих форм Zn^{2+} у ґрунтах України становить 0,6 мг/кг. У більшості регіонів України вміст цинку не перевищує 2 мг/кг. Цинк є есенціальним мікроелементом, і виявлені концентрації у П1, П3, П4, П5, П6 та П8 є безпечними та достатніми для забезпечення нормального функціонування ґрунтових екосистем.

ГДК для Ni^{2+} становить 4,0 мг/кг. Усі проби, окрім П8, перевищують цей норматив. Найвищі значення зафіксовано у П2 (9,80 мг/кг), П6 (8,90 мг/кг) та П4 (8,55 мг/кг). Нікель є складником сплавів, акумуляторів, електроніки, що також свідчить про техногенне походження. Перевищення ГДК за вмістом іонів нікелю у 1,3–2,4 рази свідчить про необхідність постійного моніторингу та розроблення можливих заходів щодо контролю його вмісту в компонентах екосистем. Нікель є складником сплавів, акумуляторів, електроніки – його присутність у досліджуваних пробах свідчить про техногенне походження.

Концентрація іонів кобальту (Co^{2+}) перевищена в усіх пробах, за винятком П8. Найбільший вміст виявлений у П2 (98,81 мг/кг), П4 (72,68 мг/кг) та П6 (72,68 мг/кг). Кобальт використовується в акумуляторах, сплавах, магнітах – його наявність підтверджує участь високотехнологічних компонентів у забрудненні. Відсутність чітко регламентованої ГДК для кобальту в українському законодавстві ускладнює інтерпретацію цих результатів, однак високі концентрації можуть свідчити про потенційно небезпечний рівень забруднення та потребують подальшого дослідження з урахуванням фонових показників для даного регіону. Для ґрунтового оцінювання екологічного ризику, пов'язаного з кобальтом, необхідно проведення додаткових токсикологічних досліджень або звернення до специфічних галузевих нормативів.

Розрахований коефіцієнт забруднення (далі – Кз) (табл. 4) дозволяє порівняти фактичну концентрацію кожного важкого металу з його гранично допустимою концентрацією (ГДК) та дає змогу: оцінити ступінь перевищення ГДК та наявність забруднення проб загалом; виявити просторові закономірності забруднення тощо. Зокрема встановили, що найбільш забруднені проби – П2, П4, П7. У них зафіксовано комплексне перевищення концентрацій кількох важких металів, що свідчить про гостре техногенне забруднення, імовірно, пов'язане з вибухами БпЛА або боєприпасів.

Таблиця 4

Середні значення коефіцієнтів забруднення змішаних проб щодо іонів токсичних металів

Проба	Cd	Pb	Cu	Zn	Co	Ni
П1	0,00	0,53	1,32	1,42	6,51	1,83
П2	0,29	93,25	4,53	4,29	19,76	2,45
П3	0,03	2,51	6,78	2,01	9,26	1,30
П4	0,00	5,57	21,75	0,60	14,54	2,14
П5	0,00	1,51	7,43	0,22	13,27	2,06
П6	0,34	4,27	3,63	0,63	14,54	2,23
П7	6,14	52,54	13,82	1,14	10,91	2,06
П8	0,00	0,00	0,00	0,14	1,02	0,19

Проби з найбільшим забрудненням: П7 – критично перевищені концентрації Cd (6,14), Pb (52,54), Cu (13,82), Co (10,91); П2 – дуже високе перевищення Pb (93,25), Cu (4,53), Co (19,76); П4 – Cu (21,75), Co (14,54); у П5, П6 – концентрації Cu, Co, Ni перевищують норму у 2–7 разів. Помірне забруднення виявлено у П3 – за Cu (6,78) та Co (9,26). У П1 наявне лише перевищення Co в 6,51 раза. У пробі П8 усі показники в межах норми або дуже близько до фону.

Обговорення

Для об'єктивності отриманих результатів було здійснено порівняльний аналіз із даними сучасних досліджень, що стосуються забруднення ґрунтів важкими металами на території України. Особливу увагу приділено роботам, які охоплюють території, що зазнали впливу бойових дій або інтенсивного техногенного навантаження. Зокрема, згідно з результатами агроекологічного моніторингу в межах дослідницької ініціативи компанії “Corteva Agriscience” (проєкт “Soil Test”), спрямованої на оцінювання стану ґрунтів після бойових дій, було проаналізовано понад 400 зразків проб ґрунтів. У звіті зазначено, що вміст нікелю перевищував нормативні значення приблизно на 20%, тоді як концентрації свинцю та миш'яку залишалися в межах допустимого рівня (Corteva ..., 2025). Порівняно із цими даними, результати даного дослідження демонструють значно вищі рівні забруднення: зокрема, вміст свинцю у П2 сягав 559,5 мг/кг, що в понад 90 разів перевищує ГДК, а вміст нікелю в кількох пробах перевищував норматив у 2–2,5 рази. Це свідчить про більш інтенсивне та локалізоване забруднення, імовірно, пов'язане з вибухами безпілотних літальних апаратів.

Результати досліджень, проведених у межах великих міст України, зокрема

Києва, Донецька й Івано-Франківська, свідчать про підвищений вміст важких металів у ґрунтах. Максимальні концентрації такі: свинець – 47,03 мг/кг, мідь – 66,42 мг/кг, цинк – 252,3 мг/кг, кадмій – 0,41 мг/кг. У нашому дослідженні вміст свинцю в окремих пробах перевищував 500 мг/кг, а кадмію – 4,3 мг/кг, що значно перевищує навіть показники, характерні для промислових зон. Це вказує на надзвичайно високий рівень локального забруднення, який не є типовим для звичайних урбанізованих територій (Андрусишина, 2020).

У дослідженнях, проведених у місті Дніпрі, виявлено значно вищі концентрації свинцю (до 7 830 мг/кг) та інших металів у ґрунтах поблизу промислових підприємств, що перевищує показники, зафіксовані в нашому дослідженні (Laptiev et al., 2024).

Знищення Каховської дамби у 2023 р. спричинило вивільнення понад 90 тис. тон важких металів, як-от свинець, кадмій і нікель, що призвело до значного забруднення водних екосистем (Klimentov, 2025).

У роботі, присвяченій оцінюванню стану ґрунтів на територіях, що зазнали бойових дій, було встановлено, що найбільш небезпечними є забруднення свинцем, кадмієм, міддю та нікелем у ґрунтах прифронтових зон. Автори акцентують на тому, що бойові дії призвели до вивільнення токсичних речовин у ґрунт, воду та повітря, спричинивши довгостроковий ризик для здоров'я населення та біосфери. Наводяться методи кількісного оцінювання рівнів забруднення з використанням індексів екологічного ризику, які дозволяють класифікувати території за ступенем небезпеки. У статті наголошується на необхідності розроблення системного підходу до моніторингу та ремедіації забруднених територій, а також міжнародного втручання з метою екологічної

безпеки (Rawtani et al., 2022). Зважаючи на комплексне перевищення ГДК за кількома металами у П2, П4 та П7, ці ділянки можна віднести саме до 5-го класу небезпеки. Це підтверджує, що джерелом забруднення є інтенсивний техногенний вплив, зокрема вибухи боєприпасів або уламки БЛА.

Під час аналізу отриманих результатів на місці спаленої техніки виявлено зменшення вмісту рухомих форм фосфору до 40% та підвищення вмісту марганцю на 200–500% порівняно з фоновими показниками.

У результаті проведеного аналізу проб ґрунту, узятих з полів, на яких велися активні бойові дії, було виявлено збільшення вмісту у ґрунті заліза у 5 разів, марганцю – удвічі, міді – у 7 разів, нікелю – утричі, хрому – у 8 разів. Незважаючи на зростання концентрацій, значення залишалися в межах ГДК, що свідчить про буферну здатність ґрунту до акумуляції металів. Перевищення ГДК відзначено за вмістом у ґрунтах іонів кадмію – понад 0,85 мг/кг у рухомій формі за норми 0,7 мг/кг. Відомо, що кадмій негативно впливає на мікробіологічну активність, ферментативні процеси, а також порушує фотосинтез, транспірацію та засвоєння макро- і мікроелементів у рослин. Його токсичність проявляється навіть у незначних концентраціях.

На місцях згорілої техніки та у вирвах після вибухів рН ґрунту порівняно з фоновим був підвищений у бік підлужнення. Зафіксовано підвищення рН ґрунту на 0,21 одиниці порівняно з фоновими значеннями. Це пояснюється вигоранням органічної речовини та накопиченням лужних елементів. У короткостроковій перспективі це може впливати на мобільність важких металів, зокрема Pb, Cu та Ni, які в лужному середовищі утворюють металоорганічні комплекси з підвищеною рухливістю. Відмічається також зменшення вмісту гумусу порівняно з контрольними ділянками – коливання становлять від 0,3 до 1%. Це пов'язано з термічним руйнуванням органічної речовини та мікробіоти. Втрата гумусу негативно впливає на водоутримувальну здатність, структурність ґрунту та його біологічну активність.

Зміна рН, втрата гумусу та накопичення важких металів у межах допустимих значень створюють потенційні ризики для агровикористання ґрунтів. Активність іонів металів у ґрунті залежить не лише від їхньої хімічної природи, а й від властивостей ґрунотвірної породи, вмісту глинистих

фракцій, вологості, мікробіологічної активності й інших ландшафтно-геохімічних чинників. У лужних умовах посилюється утворення металоорганічних комплексів, що сприяє збільшенню рухливості свинцю, міді та нікелю, оскільки вони мають високу сподірненість з органічною речовиною.

Вибухові речовини, що використовуються в бойових зарядах БЛА та керованих ракетах, характеризуються надзвичайною токсичністю навіть у мінімальних дозах, здатністю уражати великі площі, проникати в техніку та споруди, а також тривалим збереженням у ґрунтах і атмосфері. Їх застосування ускладнює своєчасне виявлення та ідентифікацію, а також дозволяє керувати масштабами ураження (Мацера, 2025). Хоча в нашому дослідженні не йдеться про пряме використання хімічної зброї, виявлені концентрації важких металів (особливо Pb, Cd, Cu) свідчать про подібний за наслідками токсичний ефект на ґрунтове середовище.

Колегами (Bondar et al., 2023) було встановлено, що вибухи на півночі України спричиняють утворення магнетитоподібних частинок із підвищеною магнітною сприйнятливостю, які містять залишки вибухових речовин. У таких зонах фіксувалося суттєве перевищення фонових рівнів As, Ba, Cu, Fe, Pb і Zn. Це узгоджується з нашими результатами, де у П2, П4 та П7 виявлено значне перевищення вмісту свинцю (до 559,5 мг/кг), міді (до 65,25 мг/кг) та цинку (до 27,80 мг/кг), що може бути наслідком розсіювання металевих частинок після вибухів.

Подібні висновки зроблено в роботі, у якій вивчали ґрунти долини річки Ірпінь (Bondar et al., 2023), досліджували магнітні та хімічні властивості зразків ґрунту із зон падіння ракет у долині річки Ірпінь, особливо зосереджувались на територіях, уражених бойовими діями та боєприпасами, що не вибухнули. Дослідження мало на меті відрізнити пов'язані з війною магнітні та хімічні сигнали та природний фон ґрунту.

Учені виявили, що в місцях падіння ракет і снарядів спостерігається локальне зростання концентрацій Pb, Cu, Zn, що корелює з підвищеними магнітними індексами. Це підтверджує ефективність комплексного підходу до оцінювання забруднення, який може бути застосований і до нашого випадку (Hlavatskyi et al., 2024).

У дослідженні (Petrushka et al., 2024) простежено зниження концентрацій Cd, Cu, Ni та Pb у ґрунтах протягом шести місяців після

обстрілів. Це свідчить про активні процеси трансформації та міграції металів у ґрунтовому середовищі. У нашому випадку, хоча дослідження є моментальним, наявність рухомих форм металів (особливо Cd^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+}) вказує на їхню високу біодоступність і потенційну здатність до вертикального переміщення у профілі ґрунту.

Автори роботи (Trokhymenko et al., 2023) дослідили рівень забруднення ґрунтів у місцях знищення танків Т-72Б3 і Т-80. Було встановлено, що вміст свинцю перевищував ГДК у десятки разів, а також спостерігалось накопичення Zn, Cd, Cu. Це цілком узгоджується з нашими результатами, де проби, відібрані поблизу місць падіння БпЛА, демонструють подібне комплексне перевищення по кількох металах. Особливо показовими є П2 і П7, які мають перевищення ГДК по 45 елементах.

У ґрунтах Дніпропетровської, Миколаївської та Запорізької областей виявлено перевищення вмісту свинцю у 3, 5 і 11 разів відповідно. Також зафіксовано підвищення кислотності й ущільнення поверхневого шару, що ускладнює агровикористання. Високі концентрації важких металів у ґрунтах, що потенційно використовуються для сільського господарства, вказують на необхідність подальшого моніторингу й оцінювання придатності таких земель (Vulba et al., 2024).

Після потрапляння до ґрунту вибухові залишки та важкі метали зазнають складної трансформації під впливом як абіотичних, так і біотичних чинників. Їхня мобільність та хімічна поведінка визначаються сукупністю фізико-хімічних і біологічних процесів, серед яких ключову роль відіграють розчинення, випаровування, адсорбція, фотоліз, гідроліз і мікробіологічна деградація. Інтенсивність цих процесів залежить від гранулометричного складу, мінералогічної будови, вмісту гумусу, кислотно-лужного балансу, окисно-відновного потенціалу та наявності геохімічних бар'єрів (Кроїк, 2011).

Часовий фактор також суттєво впливає на динаміку забруднення. Зокрема, підвищена кислотність та наявність розчинних органічних речовин можуть прискорювати міграцію токсикантів. Переміщення забруднюючих речовин у ґрунті відбувається як у горизонтальному, так і у вертикальному напрямках. Горизонтальна міграція є найбільш активною в перші дні після вибухів і часто зумовлена аерозольним перенесенням. Вертикальне переміщення, своєю чер-

гою, зумовлюється дифузією іонів, капілярним підняттям вологи, діяльністю кореневих систем, ґрунтової мезофауни й антропогенними впливами. Найбільш визначальним чинником вертикальної міграції є водний режим ґрунту (Мірошниченко, 2001).

У ґрунтовому розчині забруднювачі можуть існувати як у вільній іонній формі, так і у зв'язаному стані, підтримуючи динамічну рівновагу. Метали у природних водах часто утворюють комплекси з неорганічними лігандами або органічними кислотами, що значно підвищує їхню рухливість (Яковенко та ін., 2015). Залежно від ступеня мобільності, важкі метали в рідкій фазі ґрунту поділяють на три основні форми: нерозчинну, колоїдну й істинно розчинну. Вони можуть бути представлені гідроксидами, орґано-мінеральними комплексами з гуміновими та фульвокислотами.

Колоїдні форми важких металів включають мінеральні, органічні й орґано-мінеральні частинки. У межах останніх метали формують хелатні або метал-орґанічні комплекси, які виникають внаслідок сорбції металів органічною речовиною або гідрооксидами заліза, марганцю і алюмінію (Сплодитель та ін., 2020). Після потрапляння до ґрунту мінеральні форми металів поступово переходять у більш стабільні структури під впливом біотичних чинників. Це сприяє їхньому закріпленню у твердій фазі, зокрема у формі сполук як літофільних, так і халькофільних елементів. Сукупність цих процесів формує сорбційний ландшафтно-геохімічний бар'єр, який обмежує подальшу міграцію токсичних елементів у ґрунтовому профілі.

Висновки

Усі досліджені змішані проби ґрунту містять іони важких металів, що свідчить про наявність техногенного навантаження, пов'язаного із впливом вибухових речовин, що містяться в бойових зарядах БпЛА та керованих ракет, фрагментах їхніх корпусів. Найбільш забрудненими виявилися П2, П4 та П7, які демонструють комплексне перевищення по кількох елементах.

Гранично допустимі концентрації (ГДК) були перевищені для таких металів, як: кадмій – у П7 (4,3 мг/кг), що в 6,14 раза перевищує ГДК (0,7 мг/кг); свинець у П2 (559,5 мг/кг) та П7 (315,25 мг/кг), що у 93 та 52 рази перевищує ГДК (6,0 мг/кг); мідь у всіх пробах, окрім П8, з максимальним значенням у П4 (65,25 мг/кг), що у 21,75 раза перевищує ГДК (3,0 мг/кг); цинк у П2 (27,80 мг/кг) та

П7(26,26мг/кг), що перевищує ГДК(23,0мг/кг); кобальт у всіх пробах, окрім П8, з максимальним значенням у П2 (98,81 мг/кг), що в 19,76 разів перевищує ГДК (5,0 мг/кг); нікель у всіх пробах, окрім П8, з перевищенням в 1,32,45 разів щодо ГДК (4,0 мг/кг).

П8 є умовно фоновою, оскільки вміст усіх досліджених металів у ній не перевищує нормативні значення. Це підтверджує локальний характер забруднення, пов'язаний із конкретними точками впливу (вибухи, згоріла техніка).

Коефіцієнти забруднення (Кз) свідчать про дуже сильне забруднення (Кз > 5) іонами Cd²⁺, Pb²⁺, Cu²⁺ у П2 та П7; сильне забруднення (Кз = 25) іонами Co²⁺, Ni²⁺ у більшості проб; помірне забруднення (Кз = 12) іонами Zn²⁺ у П2 та П7.

Комплексне забруднення ґрунтів важкими металами, особливо у П2, П4 та П7, свідчить про формування екологічно небезпечних осередків, які потребують подальшого моніторингу, оцінювання ризиків та, за потреби, рекультиваційних заходів.

Наявність рухомих форм металів вказує на їхню високу біодоступність і потенційну здатність до міграції у ґрунтового профілі, що створює ризики для рослин, мікробіоти та ґрунтових вод.

Зміни фізико-хімічних властивостей ґрунту (зниження вмісту фосфору, підлужнення рН, зменшення гумусу) додатково ускладнюють екологічну ситуацію та можуть впливати на поведінку металів у ґрунтовому середовищі.

Більшість досліджених проб (П1 – П7) характеризується нейтральною або слабколужною реакцією ґрунтового розчину. Значення активної кислотності (рН) у цих пробах коливаються в межах 7,257,41, що свідчить про помірне підлужнення ґрунтів

на територіях, де відбувалися бойові дії або згоріла техніка.

П8 характеризується найнижчим значенням рН = 6,10, що відповідає слабкислому середовищу. Це може свідчити про фоновий або незабруднений стан ділянки, яка не зазнала прямого техногенного впливу.

Обмінна кислотність у П1 – П7 також залишається на рівні рН = 7,007,28, що підтверджує стійке підлуження ґрунтового середовища. Найнижче значення обмінної кислотності зафіксовано у П8 із рН = 4,87, що підтверджує її відмінність від решти проб.

Гідролітична кислотність у всіх пробах залишається дуже низькою (від 0,00055 до 0,00138 моль екв/100 г ґрунту), що свідчить про високу буферну здатність ґрунтів і відсутність глибоких процесів закислення. Найвище значення гідролітичної кислотності спостерігається у П8, що може бути пов'язано із природними особливостями ґрунотвірної породи або вищим вмістом органічної речовини.

Підлуження ґрунтів у зонах бойових дій (П1 – П7), імовірно, пов'язане з вигоранням органічної речовини та мікробіоти; накопиченням лужних елементів (наприклад, кальцію, магнію, калію) після вибухів; зменшенням гумусового горизонту, що знижує кислотність.

Зміна кислотності ґрунту має екологічне значення, оскільки величина рН є ключовим фактором, що регулює: рухливість важких металів (у лужному середовищі зростає мобільність Pb, Cu, Ni); активність мікроорганізмів; доступність поживних речовин для рослин.

Отже, підлуження ґрунтів у зонах техногенного впливу може сприяти підвищенню біодоступності токсичних металів, що створює додаткові ризики для екосистеми, навіть за відсутності перевищення ГДК.

Список використаної літератури

Андрусишина І. Гігієнічна оцінка впливу металів на ендокринну систему як техногенних факторів малої інтенсивності : дис. ... докт. біол. наук : 14.02.01. Київ, 2020. 354 с.

Вплив війни Росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу / А. Сплодитель та ін. Київ : ГО «Центр екологічних ініціатив «Екодія»», 2023. 154 с.

ДСТУ ISO 11047:2005. Якість ґрунту. Визначання кадмію, хрому, кобальту, купруму, плюмбуму, мангану, ніколу та цинку в екстракті, отриманому після оброблення ґрунту «царською водкою». Методи полуменевої та електротермічної атомно-абсорбційної спектрометрії. Київ : Держстандарт України, 2005. 20 с. [Електронний ресурс]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=51731 (дата звернення 10.05.2025).

Corteva надає фермерам можливість перевірити стан ґрунтів, які постраждали від військових дій [Електронний ресурс]. URL: <https://surl.li/scbbqw> (дата звернення 10.06.2025).

Кроїк Г. Токсикологічні аспекти накопичення та розподілу важких металів у ґрунтах промислових агломерацій. *Zoocenosis-2011: Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах*. Дніпропетровськ : Вид-во ДНУ, 2011. С. 15–18.

Мацера О. Вплив воєнних дій на стан ґрунтів в Україні. *Агробізнес сьогодні* [Електронний ресурс]. URL: <https://agro-business.com.ua/zberezhennia-hruntu/item/31567-vplyv-voiennykh-dii-na-stan-> (дата звернення 10.06.2025).

Мірошниченко М. Адсорбційні механізми бар'єрної функції ґрунтів у міграції важких металів. *Вісник Запорізького державного університету*. 2001. № 1. С. 1–5.

Набиванець Б., Сухан В., Калабіна Л. Аналітична хімія природного середовища : підручник. Київ : Либідь, 1996. 304 с.

Сплодитель А., Кураєва І., Злобіна К. Особливості акумуляції важких металів у ґрунтах урбанізованих ландшафтів м. Бровари. *Геологічний журнал*. 2020. № 2. С. 39–51.

Яковенко О., Кураєва І., Кроїк Г., Злобіна К. Геохімічні особливості розподілу важких металів у ґрунтах зони впливу підприємств кольорової металургії. *Вісник Дніпропетровського університету*. Серія «Геологія, географія». 2015. № 23 (1). С. 152–157. <https://doi.org/10.15421/111520>.

Bondar K., Bakhmutov V., Poliachenko I., Hlavatskyi D., Menshov O. Magnetic and chemical signals of post-blast residue in soil: A case study from northern Ukraine. *Science of The Total Environment*. 2025. V. 977. P. 179342. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179342>.

Bulba I., Drobitko A., Zadorozhnii Yu., Pismennyi O. Identification and monitoring of agricultural land contaminated by military operations. *Scientific Horizons*. 2024. № 27 (7). P. 107–117. <https://doi.org/10.48077/scihor7.2024.107>.

Laptiev V., Giltrap M., Tian F., Ryzhenko N. Assessment of Heavy Metals (Cr, Cu, Pb, and Zn). Bioaccumulation and Translocation by *Erigeron canadensis* L. in Polluted Soil. *Pollutants*. 2024. № 4 (3). P. 434451. <https://doi.org/10.3390/pollutants4030029>.

Klimentov M. Destruction of Ukraine dam triggered toxic “time bomb”, researchers say [Електронний ресурс]. URL: <https://www.washingtonpost.com/world/2025/03/13/kakhovka-dam-environment-heavy-metals-science-study/> (дата звернення 14.03.2025).

Petrushka K., Petrushka I., Holdrych A. Dynamics of heavy metals migration in the soil as a consequence of military actions. *Environmental Problems*. 2024. V. 9. № 2. P. 109–116. <https://doi.org/10.23939/ep2024.02.109>.

Rawtani D., Gupta G., Khatri N., Rao P.K., Hussain C.M. Environmental damages due to war in Ukraine: A perspective. *Science of The Total Environment*. 2022. № 850. P. 157932. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157932>.

Trokhymenko G., Litvak S., Litvak O., Andreeva A., Rabich O., Chumak L., Nalysko M., Troshyn M., Komarysta B., Sopov D. Assessment of iron and heavy metals accumulation in the soils of the combat zone. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. V. 5. № 10 (125). P. 616. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289289>.

Hlavatskyi D., Menshov O., Poliachenko I., Bakhmutov V., Bondar K. Comparison of magnetic and geochemical parameters in soil for the estimation of heavy metals pollution caused by warfare. *GeoTerrace-2024*. Lviv, 2024. P. 14. URL: <https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2024/09/GeoTerrace-2024-067.pdf>.

References

Andrusyshyna, I.M. (2020). *Hihienichna otsinka vplyvu metaliv na endokrynnu systemu yak tekhnohennykh faktoriv maloi intensyvnosti* [Hygienic assessment of the impact of metals on the endocrine system as technogenic factors of low intensity] (Doctoral dissertation, 14.02.01 Hygiene and Occupational Pathology). Kyiv [in Ukrainian].

ДСТУ ISO 11047:2005 (2005). *Yakist gruntu. Vyznachannia kadmiuu, khromu, kobaltu, kuprumu, pliumbumu, manhanu, nikolu ta tsynku v ekstrakti, otrymanomu pislia obroblennia gruntu “tsarskoiu vodkoiu”*. *Metody polumenevoi ta elektrotermichnoi atomno-absorbtsiinoi spektrometrii* [Soil quality. Determination of cadmium, chromium, cobalt, copper, lead, manganese, nickel and zinc in an extract obtained after digestion with aqua regia. Flame and electrothermal atomic absorption spectrometric methods]. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy. [Electronic resource] URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=51731 (access date 10.05.2025) [in Ukrainian].

Corteva nadaie fermeram mozhlyvist pereviryty stan gruntiv, yaki postrazhdaly vid viiskovykh dii [Corteva provides farms with the opportunity to check the condition of soils affected by military operations]. [Electronic resource] URL: <https://surl.li/scbbqw> (access date 10.06.2025) [in Ukrainian].

Kroik, H.A. (2011). Toksykologichni aspekty nakopychennia ta rozpodilu vazhkykh metaliv u gruntakh promyslovykh ahlomeratsii [Toxicological aspects of the accumulation and distribution of

heavy metals in the soils of industrial agglomerations]. In *Zoocenosis-2011: Bioriznomanittia ta rol tvaryn v ekosystemakh [Biodiversity and the role of animals in ecosystems]*. Dnipropetrovsk: Vyd-vo DNU, pp. 1518 [in Ukrainian].

Matsera, O. (2025). Vplyv voiennykh dii na stan gruntiv v Ukraini [The influence of military actions on the state of soils in Ukraine] [*Agribusiness today*]. [Electronic resource] URL: <https://agro-business.com.ua> <https://agro-business.com.ua/zberezhennia-hruntu/item/31567-vplyv-voiennykh-dii-na-stan-> (access date 15.05.2025) [in Ukrainian].

Miroshnychenko, M.M. (2001). Adsorbtsiini mekhanizmy bariernoï funktsii gruntiv u mihratsii vazhkykh metaliv [Adsorption mechanisms of the barrier function of soils in the migration of heavy metals]. *Visnyk Zaporizkoho derzhavnogo universytetu [Bulletin of Zaporizhzhya State University]*, 1, 15 [in Ukrainian].

Nabyvanets, B.I., Sukhan, V.V., & Kalabina, L.V. (1996). *Analitichna khimiia pryrodnoho seredovyscha [Analytical chemistry of the natural environment]*. Kyiv: Lybid [in Ukrainian].

Splodytel, A.O., Kuraieva, I.V., & Zlobina, K.S. (2020). Osoblyvosti akumulatsii vazhkykh metaliv u gruntakh urbanizovanykh landshaftiv m. Brovary [Peculiarities of the accumulation of heavy metals in the soils of urbanized landscapes of Brovary]. *Heolohichnyi zhurnal [Geological Journal]*, (2), 3951 [in Ukrainian].

Splodytel, A., Holubtsov, O., Sorokina, L., & Chumachenko, S. (2023). *Vplyv viiny rosii proty Ukrainy na stan ukrainskykh gruntiv. Rezultaty analizu [The impact of Russia's war against Ukraine on the state of Ukrainian soil. Results of the analysis]*. Kyiv: HO "Tsentri ekolohichnykh initsiatyv "Ekodiia" [NGO "Centre for Environmental Initiatives "Ecodiya"] [in Ukrainian].

Yakovenko, O.V., Kuraieva, I.V., Kroik, H.A., & Zlobina, K.S. (2015). Heokhimichni osoblyvosti rozpodilu vazhkykh metaliv u gruntakh zony vplyvu pidprijemstv kolorovoi metalurhii [Geochemical features of heavy metals distribution in soils of the zone of influence of non-ferrous metallurgy enterprises]. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Seriya: Heolohiia, heohrafiia [Bulletin of Dnipropetrovsk University. Series: Geology, Geography]*, 23 (1), 152157. <https://doi.org/10.15421/111520> [in Ukrainian].

Bondar, K.M., Bakhmutov, V., Poliachenko, I., Hlavatskyi, D., & Menshov, O. (2025). Magnetic and chemical signals of post-blast residue in soil: A case study from northern Ukraine. *Science of The Total Environment*, 977, 179342. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179342> [in English].

Bulba, I., Drobitko, A., Zadorozhnyi, Yu., & Pismennyi, O. (2024). Identification and monitoring of agricultural land contaminated by military operations. *Scientific Horizons*, 27 (7), 107117. <https://doi.org/10.48077/scihor7.2024.107> [in English].

Laptiev, V., Giltrap, M., Tian, F., & Ryzhenko, N. (2024). Assessment of heavy metals (Cr, Cu, Pb, and Zn): Bioaccumulation and translocation by *Erigeron canadensis* L. in polluted soil. *Pollutants*, 4 (3), 434451. <https://doi.org/10.3390/pollutants4030029> [in English].

Klimentov, M. (2025, March 14). Destruction of Ukraine triggered toxic "time bomb", researchers say. *The Washington Post*. [Electronic resource] URL: <https://www.washingtonpost.com/world/2025/03/13/kakhovka-dam-environment-heavy-metals-science-study/> [in English].

Petrushka, K., Petrushka, I., & Holdrych, A. (2024). Dynamics of heavy metals migration in the soil as a consequence of military actions. *Environmental Problems*, 9 (2), 109116. <https://doi.org/10.23939/ep2024.02.109> [in English].

Rawtani, D., Gupta, G., Khatri, N., Rao, P.K., & Hussain, C.M. (2022). Environmental damages due to war in Ukraine: A perspective. *Science of The Total Environment*, 850, 157932. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157932> [in English].

Trokhymenko, G., Litvak, S., Litvak, O., Andreeva, A., Rabich, O., Chumak, L., Nalysko, M., Troshyn, M., Komarysta, B., & Sopov, D. (2023). Assessment of iron and heavy metals accumulation in the soils of the combat zone. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (10 [125]), 616. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289289> [in English].

Hlavatskyi, D., Menshov, O., Poliachenko, I., Bakhmutov, V., & Bondar, K. (2024). Comparison of magnetic and geochemical parameters in soil for the estimation of heavy metals pollution caused by warfare. In *GeoTerrace-2024* (pp. 14). Lviv. URL: <https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2024/09/GeoTerrace-2024-067.pdf> [in English].

Отримано: 17.07.2025

Прийнято: 25.08.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 630*2:504.75(477)

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.37>

МЕТОДОЛОГІЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ МОНІТОРИНГУ ЛІСІВ УКРАЇНИ

С. О. Панкова¹, А. О. Бондар², М. В. Матусяк³, А. М. Піддубна⁴

Аналіз еволюції системи лісового моніторингу в Україні свідчить про тривалий та неоднозначний процес формування інституційної, методичної та організаційної основи, що відбувся в умовах складного соціально-економічного становлення держави. Починаючи з 1990-х років, Україна поступово адаптувала національні підходи до ведення моніторингу стану лісів відповідно до європейських екологічних стандартів і методологій. Важливу роль у цьому процесі відіграла участь у Міжнародній спільній програмі з оцінки та моніторингу впливу забруднення повітря на ліси (UNECE ICP Forests), яка стала ключовим орієнтиром у розробці системи екологічного моніторингу лісових екосистем.

На початкових етапах реалізації програми спостерігалося активне залучення вітчизняних науково-дослідних установ, зокрема інститутів НАН України та профільних університетів, до створення національної мережі постійних моніторингових ділянок. Згодом, із розширенням програми, до моніторингу активно долучилися й виробничі структури, зокрема ВО «Укрдержліспроект», державні лісгосподарські підприємства та обласні управління лісового і мисливського господарства. Особливо уразливою залишалася сфера моніторингу критично важливих екологічних параметрів, зокрема хімічного складу атмосферного повітря, моніторингу ґрунтів на токсичні метали, визначення кислотності та фізико-хімічних характеристик ґрунтових вод. Ці показники залишалися

¹ доктор філософії з агрономії,
старший викладач кафедри лісового та садово-паркового господарства
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)
e-mail: pankovavnau@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5975-5251

² доктор сільськогосподарських наук,
професор, академік
(Лісівнича академія наук України, м. Львів)
e-mail: bondar19572204@gmail.com
ORCID: 0009-0007-0063-7713

³ кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри лісового та садово-паркового господарства
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)
e-mail: mikhailo1988@gmail.com
ORCID: 0000-0001-8099-7290

⁴ доктор філософії з агрономії,
старший викладач кафедри лісового та садово-паркового господарства
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)
e-mail: piddubnaantonina@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0204-1338

поза увагою через брак необхідних ресурсів, що знижувало репрезентативність, наукову достовірність та порівнюваність даних з іншими європейськими країнами.

На внутрішньому рівні це означає втрату можливості оперативно реагувати на виклики, пов'язані з деградацією лісів, зменшенням біорізноманіття, впливом промислового забруднення та зміною кліматичних умов. На зовнішньому — порушення міжнародних зобов'язань України, зокрема в рамках Конвенції про транскордонне забруднення повітря на великі відстані, зниження довіри до держави як екологічного партнера, а також втрату можливостей для участі в міжнародних програмах фінансування охорони природи та кліматичних ініціатив.

Таким чином, відновлення та модернізація системи лісового моніторингу в Україні повинні стати пріоритетом екологічної політики, що потребує політичної волі, інтеграції вітчизняного наукового потенціалу, міжнародної технічної підтримки та створення сталої фінансової бази для забезпечення безперервності спостережень. Лише за таких умов Україна зможе повернутися до активної участі у європейських екологічних ініціативах та забезпечити належний рівень охорони власних лісових екосистем.

Ключові слова: моніторинг лісів, ICP Forests, дефоліація, індикатори стану лісу, лісові екосистеми, лісове господарство, широкомасштабний моніторинг, екологічна звітність, сталий розвиток лісів.

METHODOLOGICAL AND PROCEDURAL FOUNDATIONS OF FOREST MONITORING IN UKRAINE

S. O. Pankova, A. O. Bondar, M. V. Matusiak, A. M. Piddubna

The analysis of the evolution of the forest monitoring system in Ukraine reveals a prolonged and ambiguous process of forming the institutional, methodological, and organizational framework, which unfolded amid the complex socio-economic development of the state. Since the 1990s, Ukraine has gradually adapted its national approaches to forest condition monitoring in accordance with European environmental standards and methodologies. A crucial role in this process was played by Ukraine's participation in the International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (UNECE ICP Forests), which became a key reference point in the development of the ecological monitoring system for forest ecosystems.

In the initial stages of the program's implementation, there was active involvement of domestic research institutions, particularly institutes of the National Academy of Sciences of Ukraine and specialized universities, in the creation of a national network of permanent monitoring plots. Later, as the program expanded, production structures also became actively involved in the monitoring process, including the State Forest Inventory Association "Ukrderzhlisproekt", state forestry enterprises, and regional departments of forestry and hunting management.

However, the monitoring of critically important environmental parameters remained particularly vulnerable, especially the chemical composition of atmospheric air, soil contamination by toxic metals, soil acidity, and the physico-chemical characteristics of soil water. These indicators were largely neglected due to a lack of necessary resources, which reduced the representativeness, scientific reliability, and comparability of Ukraine's data with that of other European countries.

At the national level, this has resulted in the loss of capacity to promptly respond to challenges such as forest degradation, declining biodiversity, the impacts of industrial pollution, and changing climate conditions. At the international level, it has led to violations of Ukraine's obligations under frameworks such as the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, a decline in trust in Ukraine as an environmental partner, and the loss of opportunities to participate in international nature conservation and climate finance initiatives.

Therefore, the restoration and modernization of Ukraine's forest monitoring system must become a priority of environmental policy. This requires political will, integration of domestic scientific potential, international technical assistance, and the establishment of a stable financial base to ensure continuous monitoring. Only under these conditions will Ukraine be able to return to active participation in European environmental initiatives and ensure an appropriate level of protection for its forest ecosystems.

Key words: forest monitoring, ICP Forests, defoliation, forest condition indicators, forest ecosystems, forestry, large-scale monitoring, environmental reporting, sustainable forest development.

Вступ

Моніторинг лісових екосистем в Україні має глибоке наукове підґрунтя і був започаткований у контексті дослідницьких робіт, які здійснювались Українським

науково-дослідним інститутом лісового господарства та агролісомеліорації імені Г.М. Висоцького (УкрНДІАГА). Саме ця наукова установа стала одним із ключових центрів формування методології та органі-

заційної структури національної системи моніторингу лісів. На початкових етапах головним завданням було створення єдиної методичної бази для спостережень, що дало змогу накопичувати репрезентативні дані щодо стану лісових насаджень у різних природно-кліматичних умовах України (Грибан і Заєць, 2025).

Важливою особливістю становлення системи стало її спрямування на гармонізацію з міжнародними вимогами. Зокрема, науково-методичне підґрунтя національного моніторингу було узгоджене з положеннями та стандартами Програми міжнародного співробітництва з оцінки та моніторингу впливу забруднення повітря на ліси (UN-ECE ICP Forests), яка функціонує в рамках Європейської економічної комісії ООН. Це дало змогу інтегрувати українські спостереження у ширший європейський контекст та забезпечити можливість порівняння даних на міждержавному рівні.

З моменту започаткування система моніторингу лісів України була орієнтована насамперед на реалізацію спостережень I рівня (Level I Monitoring), що передбачають регулярне визначення основних візуальних показників стану деревостанів, зокрема дефоліації та знебарвлення крон. Цей підхід, який широко застосовується в європейських країнах, дозволив отримати перші узагальнені оцінки щодо впливу антропогенних і природних чинників на стійкість та продуктивність лісових екосистем (Кравець, 2003).

Таким чином, національна система моніторингу лісів України формувалася як скла-

дова міжнародної науково-дослідної мережі, що спрямована на забезпечення об'єктивної оцінки стану лісових ресурсів, своєчасне виявлення негативних тенденцій та вироблення науково обґрунтованих рекомендацій для системи управління лісами в умовах зростаючого антропогенного та кліматичного тиску.

Матеріал і методи

Польові дослідження проводились відповідно до «Методичних рекомендацій з моніторингу лісів України I рівня», затверджених Науково-технічною радою Держкомлісгоспу України. У межах моніторингових ділянок здійснювалось визначення комплексу біоіндикаційних параметрів, які відображають екологічний стан і продуктивність лісових насаджень, рівень біорізноманіття лісової рослинності, а також накопичення вуглецю в лісових екосистемах.

Аналіз етапів розвитку системи моніторингу лісів в Україні представлено в таблиці 1. Виділено чотири основні періоди, кожен з яких характеризується змінами в організаційній структурі, підходах до проведення моніторингових спостережень та рівні державної підтримки (Букша та ін., 2019).

У 1990-х роках було закладено методологічну основу моніторингу, переважно в межах пілотних ділянок, організованих силами наукових установ, зокрема УкрНДІАГА, у відповідності до вимог Міжнародної спільної програми ICP Forests (Павліщук, 2005). Проте ці ініціативи мали обмежений масштаб через недостатнє фінансування та відсутність технічного забезпечення.

Таблиця 1

Основні етапи розвитку моніторингу лісів в Україні

Період	Ключові події та характеристики	Учасники / Інституції	Особливості реалізації
1990-ті роки	Створення перших моніторингових ділянок відповідно до ICP Forests (I рівень)	УкрНДІАГА, регіональні наукові установи	Початкова адаптація міжнародних методик, обмежене фінансування
2000–2010	Розширення моніторингу на всю територію України	ВО «Укрдержліспроект», Держлісагентство	Щорічне обстеження ~1500 ділянок, формування баз даних
2011–2015	Делегування польових робіт лісгосподарським підприємствам	УкрНДІАГА (координація), лісгоспи, ВО «Укрдержліспроект» (бази даних)	Проблеми з якістю даних через різний рівень підготовки кадрів
З 2016 року	Припинення систематичних спостережень	Відсутнє державне фінансування	Звітність не формується, невиконання міжнародних зобов'язань

Період 2000–2010 років позначився інституціоналізацією моніторингу лісів на загальнодержавному рівні. Залучення ВО «Укрдержліспроект» дозволило розширити географічне охоплення моніторингових ділянок на всі адміністративні області, включно з АР Крим. Був налагоджений процес щорічного збору інформації, зокрема з понад 1350 ділянок, що дало змогу накопичити значний обсяг первинних даних (Букша та ін., 2019).

Із 2013 року, згідно з наказом Держлісагентства № 60, функції виконання польових досліджень були передані безпосередньо лісогосподарським підприємствам. Така децентралізація процесу водночас спричинила проблеми з уніфікацією методик і якістю зібраної інформації, що пов'язано з неоднорідним рівнем підготовки залучених фахівців.

Найбільш критичним виявився період після 2015 року, коли у зв'язку із завершенням дії Державної цільової програми «Ліси України» та відсутністю бюджетного фінансування, регулярне проведення моніторингових спостережень було фактично зупинено (Павленко та ін., 2020). З 2016 року національна звітність з моніторингу лісів більше не формується, що суперечить як внутрішньодержавним вимогам, так і міжнародним зобов'язанням України у межах ICP Forests (Кравець, 2003).

Результати та їх обговорення

Відповідно до Концепції розбудови національної інвентаризації та моніторингу лісів України, схваленої у 2013 році Науковою радою з проблем лісознавства і лісівництва при Відділенні загальної біології НАН України, НІЛ та моніторинг лісів являють собою єдину багаторівневу систему вибірково-статистичних оцінок кількісних та якісних показників стану лісів країни (рис. 1). Відповідно реформування діяльності з моніторингу лісів необхідно проводити узгоджено з програмою спостережень НІЛ України (Павліщук, 2005).

– Близько 50 ділянок в країні у ключових лісорослинних умовах (за природними зонами);

– Розріджена мережа (15x15 км) – близько 500 лісових ділянок – щорічні обстеження;

– Мережа 5 x 5 км, понад 90 тис. ділянок (з них близько 16 тис. – лісових), щорічно обстежуються 20% від загальної кількості ділянок;

– Широкомасштабні обстеження лісів на основі даних ДЗЗ.



Рис. 1. Багаторівнева система моніторингу лісів в Україні.

ДСМЛУ має поєднувати НІЛ, моніторинг лісів I (екстенсивного) та II (інтенсивного) рівнів, дані дистанційного зондування землі (ДЗЗ), карти лісового покриття, інші геопросторові дані, інформаційні ресурси лісовпорядкування, лісозахисту та інші джерела наявної інформації щодо лісів (рис. 2). Інформація з різних джерел має інтегруватися до інформаційної бази ДСМЛУ на основі застосування ГІС-технологій та інформаційного стандарту і обмінного формату, концептуальні основи яких розроблені за участі науковців лабораторії моніторингу і сертифікації лісів УкрНДІАГА (Шершун, 2012).

Центральним компонентом оцінки стану лісової рослинності є стан крон дерев, який функціонує як індикатор загального фізіологічного стану окремих дерев та деревостанів загалом. Первинна продуктивність лісових дерев залежить від здатності крон до перехоплення світлової енергії, що зумовлює ефективність фотосинтетичних процесів. Погіршення стану крони може свідчити про вплив широкого спектру природних та антропогенних чинників, таких як діяльність шкідників і збудників хвороб, посухи, зміни гідрологічного режиму або атмосферне забруднення (Eichhorn et al., 2016).

Одним із ключових індикаторів, що застосовується для оцінки стану лісів у Європі, є дефоліація деревної крони — показник втрати листя або хвої, який відображає ступінь зниження листкової площі (Шершун, 2012). Дефоліація розглядається як інтегральний індикатор загального стану дерев і використовується у системі загальноєвропейських критеріїв сталого лісоуправління для оцінювання життєздатності лісових екосистем.

Оцінка рівня дефоліації є обов'язковою складовою участі країн у міжнародному

чи проведення трудомістких лабораторних аналізів. Унаслідок цього обсяг виконуваних робіт на ділянках моніторингу I рівня не повністю відповідав вимогам національного законодавства та міжнародним зобов'язанням України у сфері моніторингу лісів.

Зокрема, через хронічне недофінансування не забезпечувалося належне виконання моніторингу лісових ґрунтів, не проводилось визначення концентрацій хімічних речовин у повітрі, ґрунтах та водних об'єктах лісових екосистем (Букша та ін., 2011). Проведення спостережень за програмами моніторингу II рівня (інтенсивного) в Україні здійснювалося фрагментарно і носило переважно експериментальний характер – із метою апробації науково-методичних підходів.

Обговорення

У подальшому ситуація зі станом лісового моніторингу в Україні зазнала подальшого погіршення. Після завершення дії Державної цільової програми «Ліси України» на 2010–2015 роки, у зв'язку з відсутністю бюджетного фінансування, зокрема для виробничого об'єднання «Укрдержліспроект», що відповідало за формування національних баз даних моніторингу, проведення спостережень на моніторингових ділянках, які перебували у підпорядкуванні Держлісагентства, було призупинене.

Відтак, починаючи з 2016 року, формування національної звітності з моніторингу лісів припинено, і відповідні дані більше не подаються ані до центральних органів виконавчої влади, відповідальних за реалізацію державної політики у сфері лісового господарства та охорони довкілля, дані до Міжнародної спільної програми UN-ECE ICP Forests (Tallent-Halsell, 1994). Це призводить до порушення вимог чинного законодавства України та невиконання міжнародних зобов'язань, що негативно позначається на міжнародному іміджі держави (Harrington et al., 2010).

Брак систематичної, достовірної та актуальної інформації, що мала би надходити в результаті національного моніторингу лісів, суттєво погіршує якість підготовки національної екологічної звітності. Це, зокрема, стосується документів, які Україна зобов'язана подавати в межах міжнародних природоохоронних угод, таких як Конвенція ООН про біологічне різноманіття, Рамкова конвенція ООН про зміну клімату, Паризька кліматична угода та Міністерський про-

цес «Ліси Європи» (Pankova et al., 2025). Відсутність належних даних унеможливорює комплексну оцінку екосистемних змін, ускладнює виконання міжнародних зобов'язань та може стати причиною втрати довіри з боку міжнародних партнерів.

Висновки

Стан моніторингу лісів, що склався в Україні після 2016 року, створює серйозні бар'єри для впровадження стратегічних завдань, визначених у чинній Державній стратегії екологічної політики на період до 2030 року, яка затверджена Законом України від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII. Цей документ прямо вказує на необхідність посилення інституційного та технічного потенціалу природоохоронних органів у напрямку запровадження комплексної системи екологічного моніторингу, державного нагляду та ефективного управління природними ресурсами. Зокрема, акцент робиться на інтеграції екологічного моніторингу в систему управлінських рішень, що неможливо без достовірної бази даних про стан довкілля.

Потреба в модернізації та реорганізації системи екологічного моніторингу була відзначена також на найвищому державному рівні. Указом Президента України від 18 жовтня 2013 року № 572, яким вводиться в дію рішення Ради національної безпеки і оборони України, визначено перелік заходів з удосконалення системи державного контролю у сфері моніторингу навколишнього середовища, зокрема – у частині поводження з відходами. Надалі, Указом Президента України від 21 листопада 2017 року № 381, було окреслено важливість створення сучасної, інтегрованої системи моніторингу довкілля, що включає впровадження національної інвентаризації лісів (НІЛ) (Bondar et al., 2025). Цей крок мав би забезпечити структуроване, науково обґрунтоване управління лісовими ресурсами та слугувати основою для прийняття стратегічних рішень у сфері природокористування.

Таким чином, відсутність повноцінної системи лісового моніторингу перетворюється не лише на внутрішню проблему галузі, а й на системну загрозу для екологічної політики держави загалом, підриваючи її міжнародні ініціативи та довгострокові зобов'язання щодо сталого розвитку. Починаючи з 2016 року, національна система моніторингу лісів фактично не функціонує, що веде до порушення вимог чинного законодавства та міжнародних домовленостей,

а також унеможлиблює об'єктивне оцінювання стану лісових екосистем.

Відновлення системи моніторингу лісів потребує термінового перегляду механізмів фінансування, удосконалення

кадрового забезпечення та технічної модернізації, що дозволить Україні відновити свою участь у міжнародних програмах та забезпечити сталий розвиток лісового сектору.

Список використаної літератури

Букша І.Ф., Букша М.І., Пивовар Т.С. Оцінка репрезентативності даних моніторингу лісів України за різної щільності мережі ділянок спостережень. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2019. Вип. 134. С. 66–77.

Букша І.Ф., Пастернак В.П., Пивовар Т.С., Букша М.І., Яроцький В.Ю. Методичні матеріали щодо проведення моніторингу лісів I рівня та забезпечення його якості. Харків : УкрНДІАГА, 2011. 40 с.

Грибан С., Заєць С. Система автоматизованого моніторингу лісових угідь. *Measuring and computing devices in technological processes*. 2025. № 82(2). С. 45–50.

Кравець П.В. Методичні підходи щодо формування системи критеріїв та індикаторів сталого управління лісами в Україні. *Науковий вісник УкрДЛТУ*. 2003. Вип. 13.3. С. 283. [Електронний ресурс] URL: http://archive.nbuv.gov.ua/portal/chem_biol/nvnltu/13_3/283_Krawec_13_3.pdf (дата звернення: 29.06.2025).

Павлішук О.П. Особливості формування системи критеріїв та індикаторів для оцінки сталого розвитку лісового господарства України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2005. Вип. 15.7. С. 103–109.

Пузріна Н.В., Мешкова В.А., Миرونюк В.В., Бондар А.О., Токарева О.В., Бойко Г.О. Моніторинг шкідливих організмів лісових екосистем: навчальний посібник. Київ : НУБіП України, 2021. 274 с.

Шершун М.Х. Стратегія, критерії та індикатори збалансованого ведення лісового господарства: еколого-економічні та нормативно-правові шляхи їх реалізації. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012. Вип. 22.14. С. 99–105. [Електронний ресурс] URL: http://archive.nbuv.gov.ua/portal/chem_biol/nvnltu/22_14/99_Szer.pdf (дата звернення: 29.06.2025).

Bondar A., Pankova S., Razanova A., Kutsenko M. The condition and prospects for the restoration of protective forest belts in the Vinnytsia region under conditions of increasing climate risks. *Сільське господарство та лісівництво*. 2025. № 2 (37). С. 100–108. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2025-2-10>.

Eichhorn J., Roskams P., Potočić N., Timmermann V., Ferretti M., Mues V., Szepesi A., Durrant D., Seletković I., Schröck H.W., Nevalainen S., Bussotti F., Garcia P., Wulff S. Part IV: Visual Assessment of Crown Condition and Damaging Agents. In: UNECE ICP Forests Programme Coordinating Centre (ed.). *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests*. Eberswalde, Germany : Thünen Institute of Forest Ecosystems, 2016. 49 p. Annex. [Електронний ресурс] URL: <http://www.icp-forests.org/manual.htm> (дата звернення: 29.06.2025).

Harrington F., Neville P., Cummins T., Farrell T. A new vision of forest monitoring in Ireland and Europe. The FutMon project. *Environment*. 2010. No. 12. COFORD. [Електронний ресурс] URL: <http://www.agriculture.ie/media/migration/forestry/environmentalinformation/futmon/CofordConnectFeatureonFutMon.pdf> (дата звернення: 29.06.2025).

Pankova S. O., Kutsenko M. I. Assessment of the current ecological state of forest shelter belt ecosystems in the Right-Bank Forest-Steppe. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2025. Ч. 2. № 142. С. 43–49. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.142.2.6>.

Potter K.M., Conkling B.L. (eds.). *Forest health monitoring: national status, trends, and analysis 2019*. Gen. Tech. Rep. SRS-250. Asheville, NC : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, 2020. 189 p.

Sanders T.G.M., Michel A.K., Ferretti M. 30 years of monitoring the effects of long-range transboundary air pollution on forests in Europe and beyond. UNECE/ICP Forests, Eberswalde, 2016. 67 p. [Електронний ресурс] URL: <http://icp-forests.net/page/icp-forests-executive-report> (дата звернення: 29.06.2025).

Tallent-Halsell N.G. (ed.). *Forest Health Monitoring, Field Methods Guide*. EPA/620/R-94/027. Washington, D.C. : U.S. Environmental Protection Agency, 1994. 205 p.

References

- Buksha, I. F., Buksha, M. I., & Pyvovar, T. S. (2019). Otsinka reprezentatyvnosti danykh monitorynhu lisiv Ukrainy za riznoi shchilnosti merezhi dilyanak sposterezhen [Assessment of representativeness of forest monitoring data in Ukraine under different observation plot densities]. *Lisivnytstvo i ahrolisomeliioratsiia [Forestry and Agroforestry]*, (134), 66–77 [in Ukrainian].
- Buksha, I. F., Pasternak, V. P., Pyvovar, T. S., Buksha, M. I., & Yarotskyi, V. Yu. (2011). Metodychni materialy shchodo provedennia monitorynhu lisiv I rivnia ta zabezpechennia yoho yakosti [Methodical materials on conducting Level I forest monitoring and ensuring its quality]. Kharkiv : UkrNDILGA [in Ukrainian].
- Hryban, S., & Zaiets, S. (2025). Systema avtomatyzovanoho monitorynhu lisovykh uhid [Automated monitoring system of forest lands]. *Measuring and Computing Devices in Technological Processes*, 82(2), 45–50 [in Ukrainian].
- Kravets, P. V. (2003). Metodychni pidkhody shchodo formuvannia systemy kryteriiv ta indykatoriv staloho upravlinnia lisamy v Ukraini [Methodical approaches to the formation of a system of criteria and indicators of sustainable forest management in Ukraine]. *Naukovyi visnyk UkrDLTU [Scientific Bulletin of UkrDLTU]*, 13.3, 283. [Electronic resource] URL: http://archive.nbuv.gov.ua/portal/chem_biol/nvnltsu/13_3/283_Krawec_13_3.pdf (access date 29.06.2025) [in Ukrainian].
- Pavlishchuk, O. P. (2005). Osoblyvosti formuvannia systemy kryteriiv ta indykatoriv dlia otsinky staloho rozvytku lisovoho hospodarstva Ukrainy [Features of forming a system of criteria and indicators for assessing sustainable development of forestry in Ukraine]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine]*, 15.7, 103–109 [in Ukrainian].
- Puzrina, N. V., Mieshkova, V. L., Myroniuk, V. V., Bondar, A. O., Tokarieva, O. V., & Boiko, H. O. (2021). Monitorynh shkidlyvykh orhanizmiv lisovykh ekosystem: navchalnyi posibnyk [Monitoring of harmful organisms of forest ecosystems: A textbook]. Kyiv : NUBiP Ukrainy [in Ukrainian].
- Shershun, M. Kh. (2012). Stratehiia, kryterii ta indykatory zbalansovanoho vedennia lisovoho hospodarstva: ekoloho-ekonomichni ta normatyvno-pravovi shliakhy yikh realizatsii [Strategy, criteria, and indicators of balanced forestry management: Ecological-economic and legal approaches to their implementation]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine]*, 22.14, 99–105. [Electronic resource] URL: http://archive.nbuv.gov.ua/portal/chem_biol/nvnltsu/22_14/99_Szer.pdf (access date 29.06.2025) [in Ukrainian].
- Bondar, A., Pankova, S., Razanova, A., & Kutsenko, M. (2025). The condition and prospects for the restoration of protective forest belts in the Vinnytsia region under conditions of increasing climate risks. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo [Agriculture and Forestry]*, 2(37), 100–108. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2025-2-10> [in English].
- Eichhorn, J., Roskams, P., Potočić, N., Timmermann, V., Ferretti, M., Mues, V., Szepesi, A., Durrant, D., Seletković, I., Schröck, H. W., Nevalainen, S., Bussotti, F., Garcia, P., & Wulff, S. (2016). Part IV: Visual assessment of crown condition and damaging agents. In UNECE ICP Forests Programme Coordinating Centre (Ed.), *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests* (49 p.). Eberswalde, Germany: Thünen Institute of Forest Ecosystems. [Electronic resource] URL: <http://www.icp-forests.org/manual.htm> (access date 29.06.2025) [in English].
- Harrington, F., Neville, P., Cummins, T., & Farrell, T. (2010). A new vision of forest monitoring in Ireland and Europe: The FutMon project. *Environment*, (12). COFORD. [Electronic resource] URL: <http://www.agriculture.ie/media/migration/forestry/environmentalinformation/futmon/CofordConnectFeatureonFutMon.pdf> (access date 29.06.2025) [in English].
- Pankova, S. O., & Kutsenko, M. I. (2025). Assessment of the current ecological state of forest shelterbelt ecosystems in the Right-Bank Forest-Steppe. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriya: Sil'skohospodarski nauky [Tavria Scientific Bulletin. Agricultural Sciences Series]*, 2(142), 43–49. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.142.2.6> [in English].
- Potter, K. M., & Conkling, B. L. (Eds.). (2020). *Forest health monitoring: National status, trends, and analysis 2019* (Gen. Tech. Rep. SRS-250). Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station.
- Sanders, T. G. M., Michel, A. K., & Ferretti, M. (2016). *30 years of monitoring the effects of long-range transboundary air pollution on forests in Europe and beyond*. UNECE/ICP Forests, Eberswalde. [Electronic resource] URL: <http://icp-forests.net/page/icp-forests-executive-report> (access date 29.06.2025) [in English].
- Tallent-Halsell, N. G. (Ed.). (1994). *Forest health monitoring: Field methods guide* (EPA/620/R-94/027). Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency [in English].

Отримано: 17.07.2025

Прийнято: 25.08.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 502.5 (477.43)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.38>

ГЕОПРОСТОРОВІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТОВО-ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

М. Р. Питуляк¹, М. В. Питуляк², С. І. Гунько³

Стаття присвячена дослідженню геопросторових особливостей екологічного стану ґрунтово-земельних ресурсів Хмельницької області. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю комплексного оцінювання екологічного стану ґрунтово-земельних ресурсів Хмельницької області в умовах збільшення антропогенного навантаження. Метою роботи є виявлення та проведення аналізу геопросторових особливостей екологічного стану ґрунтово-земельних ресурсів Хмельницької області для розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо їх раціонального використання та охорони.

У роботі проаналізовано сучасну структуру ґрунтового покриття регіону з акцентом на виявлення особливостей землекористування. Визначено основні чинники, які впливають на стан ґрунтово-земельних ресурсів області.

Проведено комплексний аналіз екологічних показників, які характеризують родючість, екологічну стійкість, екологічну стабільність, що забезпечило візуалізацію просторового розподілу екологічних проблем.

За результатами дослідження виявлено регіональні відмінності в екологічному стані ґрунтово-земельних ресурсів, що зумовлені як природними, так і антропогенними чинниками. На основі проведеного дослідження з'ясовано, що екологічна стійкість і екологічна стабільність земельних ресурсів значною мірою залежать від структури земельних угідь, рівня розораності, площ еколого-стабілізуючих угідь. Результати дослідження демонструють найвищу розораність у центральній частині області (71,7%), низькі показники екологічної стабільності ($K_{ec} = 0,32$) і екологічної стійкості ($K_{ec} = 0,38$).

¹ кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри екології і охорони здоров'я
(Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль)
e-mail: myroslava.pytuliak@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5565-4915

² кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри агробіотехнологій
(Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль)
e-mail: mykola.pytuliak@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9446-9859

³ заступник директора Навчально-наукового
інституту інноватики, природокористування та інфраструктури,
викладач кафедри агробіотехнологій
(Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль)
e-mail: s.i.gunko@ukr.net
ORCID: 0009-0002-5129-0266

У північній частині області нижча розораність земельних ресурсів (47,7%), значна залісненість, отже, вищий рівень екологічної стабільності ($K_{ec} = 0,44$) і екологічної стійкості ($K_{cm} = 1,31$). Наукова новизна полягає в розробленні та застосуванні комплексного геопросторового підходу до оцінювання екологічного стану ґрунтово-земельних ресурсів на регіональному рівні. Практична значущість отриманих результатів полягає в можливості їх використання для розроблення та впровадження ефективних заходів щодо охорони та раціонального використання земельних ресурсів, планування територій, моніторингу екологічного стану та формування стратегій сталого розвитку Хмельницької області.

Ключові слова: екологічний стан, ґрунтово-земельні ресурси, розораність, еколого-стабілізуючі угіддя, екологічна стійкість, екологічна стабільність.

GEOSPATIAL FEATURES OF THE ECOLOGICAL STATE OF SOIL AND LAND RESOURCES OF KHMELNITSKY REGION

M. R. Pytulyak, M. V. Pytulyak, S. I. Hunko

This article is dedicated to researching the geospatial features of the ecological state of soil and land resources in Khmelnytsky region. The relevance of this study stems from the need for a comprehensive assessment of the ecological condition of soil and land resources in Khmelnytsky region amidst increasing anthropogenic pressure. The aim of this work is to identify and analyze the geospatial features of the ecological state of soil and land resources in Khmelnytsky region last to develop scientifically sound recommendations for their rational use and conservation.

The paper analyzes the modern structure of the region's soil cover, focusing on identifying land use peculiarities. Key factors influencing the condition of the region's soil and land resources have been determined. A comprehensive analysis of ecological indicators characterizing fertility, ecological resilience, and ecological stability was conducted, which enabled the visualization of the spatial distribution of ecological problems.

The research results revealed regional differences in the ecological state of soil and land resources, influenced by both natural and anthropogenic factors. Based on the conducted study, it was found that the ecological resilience and ecological stability of land resources largely depend on the structure of land use, the level of plowing, and the areas of ecologically stabilizing lands. The research results demonstrate the highest plowing rates in the central part of the region (71,7%) and low indicators of ecological stability ($K_{es} = 0,32$) and ecological resilience ($K_{es} = 0,38$). The northern part of the region has lower plowing rates of land resources (47,7%), significant forest cover, and consequently a higher level of ecological stability ($K_{es} = 0,44$) and ecological resilience ($K_{st} = 1,31$).

The scientific novelty lies in the development and application of a comprehensive geospatial approach to assessing the ecological state of soil and land resources at the regional level. The practical significance of the obtained results lies in their potential use for developing and implementing effective measures for the protection and rational use of land resources, spatial planning, environmental monitoring, and forming strategies for sustainable development in Khmelnytsky region last.

Key words: ecological state, soil and land resources, plowing rate, ecologically stabilizing lands, ecological resilience, ecological stability.

Вступ

Однією з актуальних проблем сьогодення є збалансоване сільськогосподарське землекористування. Зниження рівня ефективності використання земельних ресурсів унаслідок застосування застарілих технологій обробітку ґрунту, високий рівень розораності та інше призводять до погіршення їхнього екологічного стану. За даними В.П. Руденка (Руденко, 2010), частка земельно-ресурсного потенціалу Хмельницької області у структурі природно-ресурсного потенціалу (далі – ПРП) становить 72,6%. Тому дослідження сучасного екологічного стану ґрунтів і земельних

ресурсів Хмельницької області, їх раціональне й економічне використання є актуальною темою.

Питання екологічного стану земельних ресурсів є важливим для багатьох регіонів України, про що свідчать наукові публікації (Писаренко, 2009; Попова, 2012; Павловська, 2014; Тарасюк і Реміз, 2016; Третяк та ін., 2021; Третяк та ін., 2022; Питуляк та ін., 2022; Питуляк та ін., 2023). Теоретичні та прикладні аспекти екологічної безпеки сільськогосподарського землекористування та його оптимізації розглядаються у працях (Hubar et al., 2020; Sannikov et al., 2021).

Екологічний складник оптимізації системи землекористування (Сайко, 2000) можна визначити як усвідомлену необхідність збереження і раціонального використання землі – основного природного ресурсу та базисного компоненту довкілля. Головними шляхами досягнення поставлених цілей є, по-перше, збереження, відновлення та розширення територій із природними біоценотичними комплексами, по-друге, мінімізація (через нормування також) антропогенного навантаження на агроландшафти.

Матеріал і методи

У дослідженні ґрунтово-земельних ресурсів застосовано географічний і системний наукові підходи. Для досягнення поставлених цілей використовувалися такі наукові методи: описовий, узагальнення та систематизації, статистичний, літературний. Окрім того, був задіяний метод структурно-системного аналізу та синтезу. Застосування екосистемного підходу дозволило провести комплексне оцінювання екологічного стану ґрунтово-земельних ресурсів Хмельницької області.

Для аналізу й оцінювання екологічного стану земельних ресурсів використано фондові матеріали головного управління Держгеокадастру у Хмельницькій області, а також інформацію з екологічного паспорта (Головне ...; Екологічний ..., 2022) Хмельницької області.

Для визначення екологічної стійкості земельних ресурсів було використано методику В.В. Медведєва з публікації (Земельні ..., 1998).

Для визначення екологічної стабільності й антропогенного навантаження було використано методику А.М. Третяка (Третяк та ін., 2001).

Коефіцієнт екологічної стабільності:

$$K_{ec} = \frac{\sum_i SiKi}{\sum_n Si}$$

де Si – площа угіддя i -виду, га; n – кількість показників; Ki – коефіцієнт екологічних властивостей угідь i -виду.

Коефіцієнт антропогенного навантаження:

$$K_{an} = \frac{\sum_i SB_i}{\sum_n S}$$

де $S_1 - S_n$ – площа угіддя з визначеним рівнем антропогенного навантаження;

$B_1 - B_n$ – оціночні бали відповідних угідь.

Результати та їх обговорення

У Законі України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 р.» одним із важливих завдань зазначається «<...> забезпечення сталого використання та охорони земель, покращення стану уражених екосистем та сприяння досягненню нейтрального рівня деградації земель, підвищення рівня обізнаності населення, землевласників і землекористувачів щодо проблем деградації земель» (Закон ..., 2019).

У ст. 1 Закону України «Про землеустрій», у редакції 2003 р. (Закон України ..., 2003), визначено: стале землекористування – це форма та відповідні методи використання земель, що забезпечують оптимальні параметри екологічних і соціально-економічних функцій територій.

Стале (збалансоване) землекористування – це така система організації використання та охорони землі й інших природних ресурсів і біорозмаїття, відповідних їй земельних відносин, що відповідають відносинам суспільного розвитку, за якої досягається оптимальне співвідношення між соціальними, екологічними й економічними факторами розвитку землекористування, нормалізацією якісного стану земельних та інших природних ресурсів (нейтральною деградацією), задоволенням матеріальних і духовних потреб нинішнього та прийдешніх поколінь (Третяк та ін., 2021).

На розвиток сільськогосподарського землекористування та екологічний стан земельних ресурсів Хмельницької області значний вплив мають рельєф та ґрунтово-кліматичні особливості території.

На середній частині Хмельниччини, від Збруча до її східних меж, простягається Верхньобузька височина, абсолютні висоти якої перевищують 350 м, піднімаючись у низці місць до 380–396 м.

На північ від Верхньобузької простягається Горинь-Слуцька (або Північно-Подільська) височина із середніми абсолютними висотами 280–300 м (максимальна – 350 м). На півночі Горинь-Слуцька височина опускається уступом висотою 20–30 м до Шепетівської рівнини з найнижчими абсолютними висотами (у середньому 220–240 м).

Між південною межею Верхньобузької височини та Дністром простягається Придністерська височина, абсолютні висоти якої становлять 350–355 м і поступово знижуються до долини Дністра.

Рівномірний похил поверхні Придністров'я порушує Товтровий кряж, довжина його в межах Хмельниччини становить 80 км. Це лише частина Товтр, які починаються на Львівщині, перетинають також Тернопільську та Чернівецьку області, заходять у Молдову (Природа ..., 1980).

Ґрунтоутворні породи, рельєф, клімат, рослинний покрив і господарська діяльність людини впливають на формування ґрунтового покриву області.

У структурі ґрунтового покриву (рис. 1) області найбільша частка чорноземів типових і опідзолених, темно-сірих, світло-сірих і сірих опідзолених, лучних і болотних, дернових і дерново-підзолистих ґрунтів.

Найбільші площі охоплюють чорноземи типові (496,6 тис. га), що утворилися на лесах і лесовидних суглинках і поширені в центральній частині області.

Чорноземи опідзолені та темно-сірі опідзолені охоплюють 514,4 тис. га. Вони сформувалися та поширені в центральній і південній частинах області.

Ясно-сірі та сірі лісові ґрунти (274,7 тис. га), які утворилися на лесах і лесовидних суглинках, охоплюють південно-східну частину Хмельницького та східну частину Кам'янець-Подільського районів території області. Поширені ці ґрунти переважно на вододілах і схилах. Окремі масиви трапляються також у західній частині Шепетівської рівнини. Темно-сірі опідзолені ґрунти поширені на окремих ділянках у Хмельницькому районі та на півдні області в Кам'янець-Подільському

районі. Трапляються найбільше на вододілах і схилах.

Лучно-чорноземні та лучні ґрунти поширюються незначними ділянками по всій області. Вони сформувалися на лесових відкладах давніх долин.

Лучно-болотні та болотні ґрунти на алювіальних і делювіальних відкладах поширені переважно в північній частині області, у межах Шепетівського Полісся (36,6 тис. га).

Дерново-підзолисті ґрунти мають переважне поширення в Поліській зоні – Славутська, Нетішинська, Шепетівська та північна частина Ізяславської ОТГ.

Торфово-болотні ґрунти та торфовища низинні поширені в північній частині області, а також у межах заболочених річкових заплав.

Отже, в області переважають родючі чорноземи й темно-сірі опідзолені ґрунти, які інтенсивно використовуються для сільськогосподарського природокористування.

В.В. Медведєв зазначає: «<...> одним із головних показників для оцінки родючості ґрунту є вміст в ньому комплексу специфічних речовин – гумусу. Від нього залежить не лише врожайність рослин, але й спрямованість ґрунтових процесів, екологічний стан ґрунтів і ландшафтів, ефективність заходів з підвищення ґрунтової родючості й охорони навколишнього середовища» (Медведєв і Лактіонова, 1998).

За даними (Екологічний ..., 2023), на території Хмельницької області простежується диференціація щодо вмісту гумусу у ґрунтах. За результатами агрохімічної

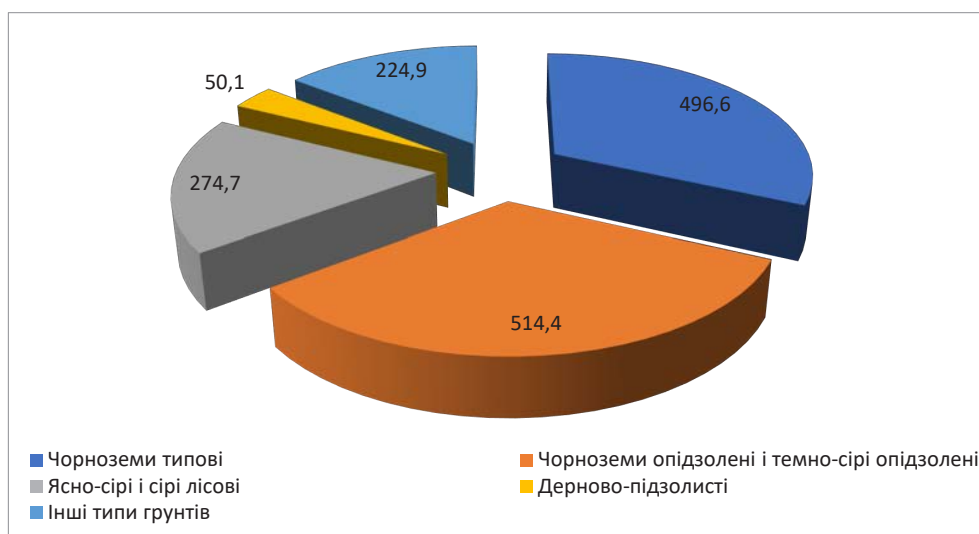


Рис. 1. Основні типи ґрунтів Хмельницької області, тис. га.
Джерело: побудовано авторами за (Екологічний ..., 2021)

паспортизації земель сільськогосподарського призначення, середньозважений показник вмісту гумусу у ґрунтах найвищий у Хмельницькому районі – 3,5%, де значні площі під ґрунтами чорноземами глибокими й чорноземами опідзоленими. Понад 55% площі району охоплюють ґрунти з підвищеним вмістом гумусу (3,1–4,0%). У Кам'янець-Подільському районі середньозважений показник вмісту гумусу у ґрунтах дещо нижчий – 2,89 і 79,6% площі охоплюють ґрунти з підвищеним вмістом гумусу (3,1–4,0%).

ґрунти Шепетівського району характеризуються найнижчим середньозваженим показником вмісту гумусу – 2,25%, найбільшою часткою ґрунтів з низьким (1,1–2,0) – 40,8%, середнім (2,1–3,0) вмістом гумусу – 41,8%. Дерново-підзолисті ґрунти Полісся, які тут охоплюють значні площі, характеризуються низькою гумусованістю – 0,7–2,0%.

За даними (Екологічний ..., 2023), середньозважений показник вмісту гумусу у ґрунтах дещо знизився у Хмельницькому (3,31%) і Кам'янець-Подільському (2,79%) районах, підвищився в Шепетівському – 3,89% (рис. 2).

Рівнинний рельєф області та наявність родючих типів ґрунтів сприяють сільськогосподарському землекористуванню на даній території.

Частка сільськогосподарських угідь в адміністративних районах Хмельницької області змінюється від 64,8% у Шепетівському до 78,2% у Хмельницькому та 76,3%

у Кам'янець-Подільському. Найвищі показники розораності території спостерігаються в центральній частині області (71,7%). У північній і південній частинах області розораність дещо нижча: 47,7% у Шепетівському районі та 51,1% у Кам'янець-Подільському районі.

За даними (Примаєв та ін., 2010), розораність у межах 60–80% вважається несприятливою, 25–60% – умовно сприятливою, менше ніж 25% – сприятливою.

Найбільша частка ріллі у структурі земельних угідь у межах Хмельницького району в Городоцькій (75,6%), Старосинявській (77%) територіальних громадах (далі – ТГ), а найменша у Віньковецькій (47,5%), Меджибізькій (47,3%) і Хмельницькій (34,7%) ТГ.

Найменша розораність у північній частині області (13,2–24,4%) на території Славутської, Плужненської, Понінківської, Шепетівської, Нетішинської ТГ.

Як зазначає (Попова, 2012), частина фахівців вважає, що третину земель доцільно залучати в сільськогосподарський оборот, третину утримувати в напівприродному стані, третину – у природному. Варто зазначити, що у світовому масштабі сформувався приблизно саме такий розподіл: частка сільськогосподарських угідь становить 37% території, лісів – 29%, сінокосів і пасовищ – 25%.

Важливою характеристикою сільськогосподарських угідь за якістю є оцінка їхньої

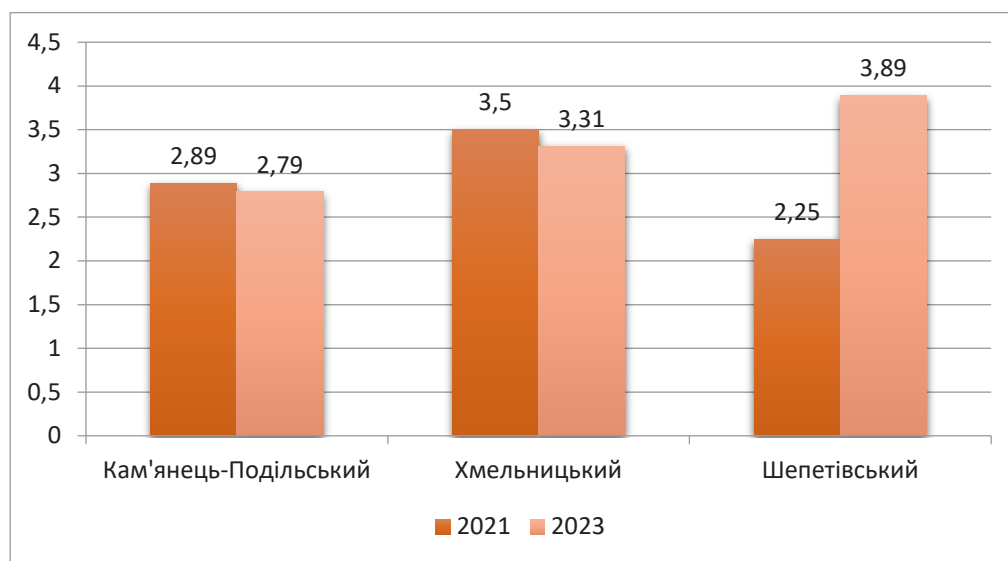


Рис. 2. Середньозважений показник вмісту гумусу у ґрунтах Хмельницької області, %.

Джерело: побудовано авторами за (Екологічний ... 2021; Екологічний, 2023)

екологічної стабільності та рівня антропогенного впливу. Основні показники, які характеризують екологічну збалансованість агроландшафтів, їхню стійкість і ступінь змін, спричинених господарською діяльністю, – коефіцієнти антропогенного навантаження та екологічної стійкості. Ці коефіцієнти дозволяють здійснити комплексне оцінювання земельних ресурсів і відображають особливості структури землекористування.

Оцінку впливу складу угідь на екологічну стабільність території, стійкість якої залежить від сільськогосподарської освоєності земель, розораності й інтенсивності використання угідь, проведення меліоративних і культурно-технічних робіт, забудови території, характеризують коефіцієнтом екологічної стабільності (Третяк та ін., 2022).

Екологічна стабільність земельних ресурсів Хмельницької області характеризується деякими територіальними відмінностями, які зумовлені природними, соціальними чинниками, особливостями природокористування, рівнем інтенсивності використання угідь та іншим.

У північній частині області, на території Шепетівського району, площа земель територіальних громад зі стабільним і середньостабільним екологічним станом земельних ресурсів є найвищою в області й становить 43,7% (з них 3,2% – екологічно стабільні). Ці територіальні громади розміщені смугою в центральній частині району і простягаються із заходу на схід (Крупецька, Михайлюцька, Судилківська, Шепетівська, Нетішинська, Ізяславська, Плужненська, Славутська ТГ). Територія громад перебуває в межах Малевого Полісся і частково Житомирського Полісся, характеризується

високою часткою еколого-стабілізуючих угідь (62,0–81,6%) та підвищеною залісненістю (35,0–50,0%).

Крайня північна частина району, яка розміщена в межах Волинської височини, характеризується слабостабільною екологічною стійкістю земельних ресурсів ($K_{ст} = 0,34-0,5$), що пов'язане з вищим рівнем розораності території (50–60%), меншою часткою лісів та інших еколого-стабілізуючих угідь (Берездівська, Улашанівська, Ганнопільська ТГ). Площа, яку вони охоплюють, становить 89 314,4 га (16,8%) (рис. 3).

Південна частина району розміщена в межах Середньо-Подільської височинної фізико-географічної області де рівень сільськогосподарської освоєності значно вищий (70,0–80,0%), а земельні угіддя характеризуються як екологічно нестабільні ($K_{ст} < 0,33$). Площа територіальних громад цієї групи становить 210 686 га (39,5%) (див. рис. 3).

Загалом територія району характеризується як слабостабільна з підвищеним рівнем антропогенного навантаження. Водночас 43,7% території є екологічно стабільними і середньостабільними, з низьким і середнім рівнем антропогенного навантаження.

Центральна частина області розташована в межах Східно-Подільської фізико-географічної області, характеризується іншими природними особливостями. Висока розораність території (71,7%) і сільськогосподарських угідь (78,2%) свідчить про сприятливі фізико-географічні умови для сільськогосподарського землекористування, з одного боку, та низьку екологічну стійкість і стабільність земельних ресурсів, розбалансоване землекористування – з іншого. На

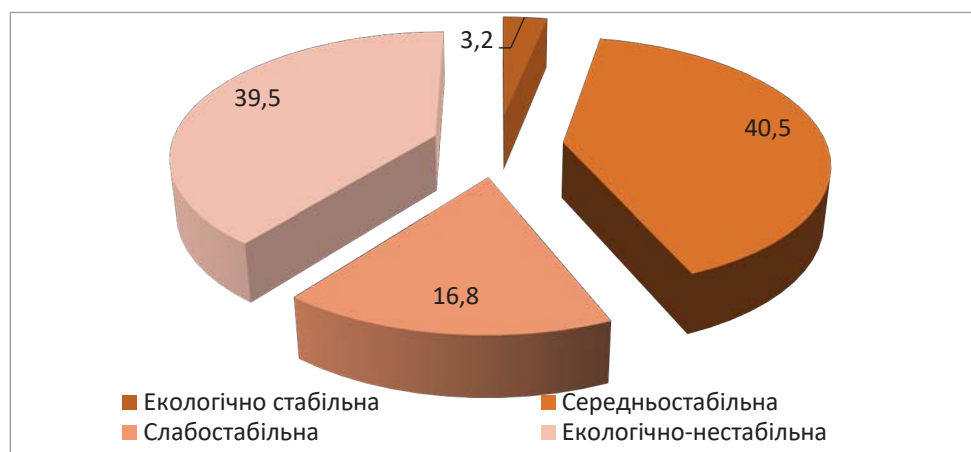


Рис. 3. Екологічна стабільність території Шепетівського району

території Хмельницького району домінують екологічно нестабільні земельні угіддя – 829 603 га (78,1%). Екологічно стабільні земельні угіддя охоплюють незначну частину території району – 232 110 га (21,9%). Площа еколого-стабілізуючих угідь, а особливо лісів, у цьому районі є незначною – 99 785 га, а залісненість становить 9,4%. Ця територія району належить до екологічно нестабільної, з підвищеним рівнем антропогенного навантаження (рис. 4).

У Кам'янець-Подільському районі, розташованому на півдні області, показник екологічної стабільності становить 0,38 (територія екологічно слабостабільна), з підвищеним рівнем антропогенного навантаження. Тут переважають земельні ресурси з екологічно слабостабільним показником – 373 113 га (85,4%). Незначною є частка територій екологічно нестабільних (Кам'янець-Подільська, Чемеровецька ТГ) – 63 690 га (14,6%). Екологічно середньостабільні й екологічно стабільні території в районі відсутні (рис. 5).

Такий екологічний стан земельних ресурсів зумовлений особливостями природних чинників, а саме більшою розчленованістю рельєфу, що впливає на рівень розораності території (51,1%). У районі спостерігається також зростання лісистості до 19,6% (Новоушицька ТГ), пересічний показник становить 13,1%.

Отже, у межах області спостерігаються деякі відмінності щодо екологічної стабільності земельних ресурсів: екологічно нестабільні земельні ресурси переважають у центральній частині Хмельницької області, у межах Середньоподільської фізико-географічної області. У напрямку на північ і на південь екологічна стабільність земельних ресурсів підвищується.

Показник екологічної стійкості земельних ресурсів залежить від структури земельного фонду, а саме: від площ орних земель і еколого-стабілізуючих угідь.

Найбільш стійкими є земельні ресурси в північній частині області –

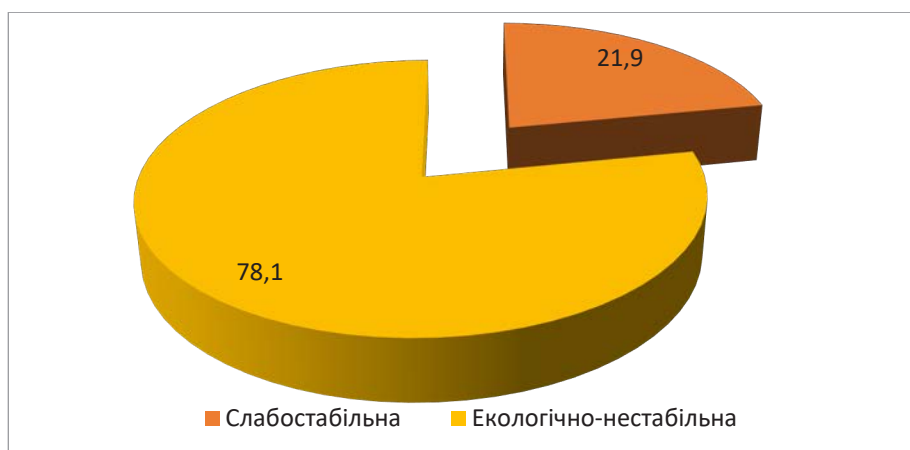


Рис. 4. Екологічна стабільність території Хмельницького району



Рис. 5. Екологічна стабільність території Кам'янець-Подільського району

у Шепетівському районі, де показник екологічної стійкості (K_{ec}) – 1,31, стійкими в південній частині – Кам'янець-Подільському районі – 0,84, умовно стійкими в центральній частині області – 0,38. Показник екологічної стійкості земельних ресурсів в області становить 0,85 (Питуляк та ін., 2022).

У Шепетівському районі площа земельних ресурсів, для яких $K_{ec} > 1$, становить 232 470,4 га (43,6%). Це земельні угіддя територіальних громад, розташованих у межах Полісся, які характеризуються розораністю у 20–40%, а на території Плузненської, Славутської, Понінківської і Нетішинської громад цей показник менше 20%.

Стійкими є земельні ресурси на території Берездівської, Улашанівської, Ганнопільської ТГ, які розміщені в межах Волинської височини й охоплюють площу 89 314,4 га (16,8%). Умовно стійкими і нестійкими є земельні угіддя в південній частині Шепетівського району, яка розташована в зоні широколистяних лісів і характеризується вищим рівнем розораності (понад 60%). Площа умовно стійких земельних ресурсів становить 185 250 га (34,8%), нестійких – 25 436 га (4,8%). Нестійкими є земельні угіддя в Сахновецькій ТГ. Рівень розораності в цій громаді є найвищим і становить 68%. Така просторова диференціація екологічної стійкості земельних ресурсів у цьому районі значною мірою зумовлена природно-географічними чинниками, а саме рельєфом, типами ґрунтів, залісненістю території.

У південній частині області значною є частка стійких (57,5%) і досить стій-

ких (29,5%) земельних угідь. Це пов'язано з наявністю у структурі земельного фонду територіальних громад значних площ лісів, сіножатей і пасовищ, отже, і розораністю – 38–55%. Земельні угіддя Маківської ТГ є умовно стійкими (2,4%), а Чемеровецької ТГ – нестійкими (10,6%).

У центральній частині області земельні ресурси мають найвищий рівень розораності – 71,7% (пересічний показник), показник їхньої екологічної стійкості є найнижчим – 0,38. Частка громад, у яких показник $K_{ec} < 0,3$ (нестійкі), становить 25%. Рівень розораності території цих громад найвищий у районі й області – 68–77% (Гвардійська, Війтівецька, Старосинявська, Розсошанська, Староостропільська, Красилівська). До групи зі стійкими земельними ресурсами належать Вінковецька, Меджидибізька, Сатанівська, Зінківська, Хмельницька, Летичівська, Лісовогринівецька ТГ, площа яких – 270 510 га (25,5%), розораність території – 47–56%. На території всіх інших громад району земельні угіддя характеризуються як умовно стійкі (526 258 га) – 49,5% (рис. 6).

Висновки

На основі проведеного дослідження з'ясовано, що екологічна стійкість і екологічна стабільність земельних ресурсів значною мірою залежать від структури земельних угідь, рівня розораності, площ еколого-стабілізуючих угідь. Загалом на території Хмельницької області спостерігаються значні відмінності щодо екологічного стану земельних ресурсів, які зумовлені природними та соціальними чинниками.

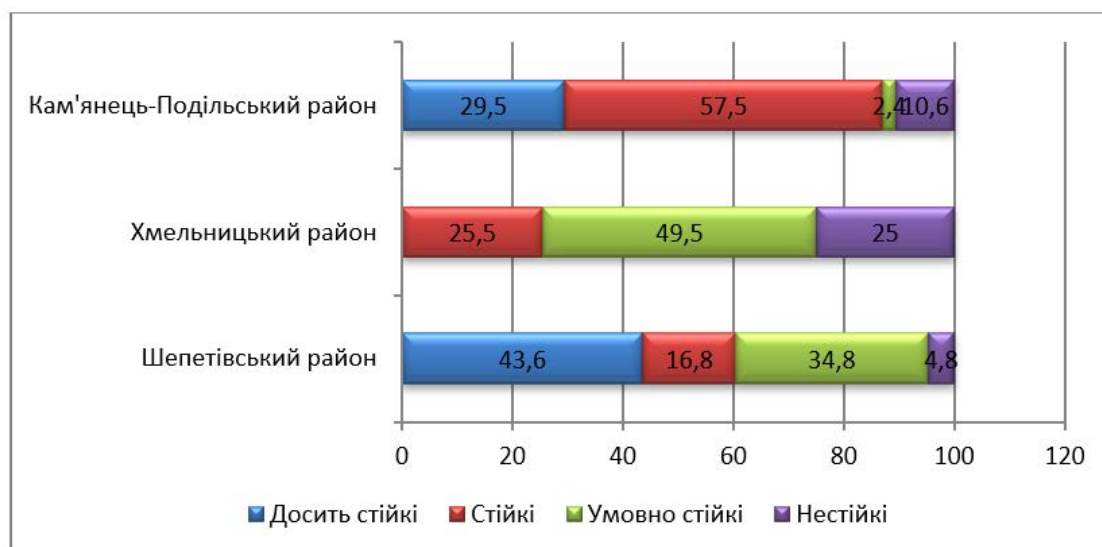


Рис. 6. Екологічна стійкість земельних угідь Хмельницької області, %

Найвищі показники розораності характерні для центральної частини області (71,7%), відповідно показники екологічної стабільності ($K_{ec} = 0,32$) і екологічної стійкості ($K_{ec} = 0,38$) найнижчі.

Для територіальних громад, розташованих у північній частині області, у межах Полісся, характерними є нижча розораність (47,7%), значна залісненість, тому спостерігається підвищення екологічної стабільності ($K_{ec} = 0,44$) і екологічної стійкості ($K_{ct} = 1,31$).

У південній частині області ці показники також вищі – $K_{ec} = 0,38$, $K_{ct} = 0,84$.

На основі оцінювання екологічної стабільності можна зробити висновок про те, що в межах Хмельницької області структура

земельних ресурсів екологічно незбалансована, що є наслідком значної частки ріллі у структурі сільськогосподарських угідь. Частка стабілізуючих угідь (лісів, сіножатей, пасовищ) є незначною.

Екологічно збалансованою є структура земельних ресурсів у територіальних громадах, розташованих у Шепетівському районі, у межах Полісся, які охоплюють 43,7% території району.

Головним завданням екологічної оптимізації земельних ресурсів Хмельницької області є формування екологічно збалансованої структури земельних ресурсів завдяки збільшенню частки еколого-стабілізуючих угідь та зниженню розораності.

Список використаної літератури

Головне управління Держгеокадастру в Хмельницькій області [Електронний ресурс]. URL: <https://khmelnytska.land.gov.ua> (дата звернення 15.05.2025).

Екологічний паспорт Хмельницької області [Електронний ресурс]. URL: <https://www.adm-km.gov.ua/wp-content/uploads/> (дата звернення 16.03.2025).

Екологічні проблеми землеробства / І.Д. Примак та ін. Київ, 2010. 456 с.

Земельні ресурси України / за ред. В.В. Медведєва, Т.М. Лактіонової. Київ : Аграрна наука, 1998. 150 с.

Павловська Т.С. Геоекоекологічна діагностика територіальної структури землекористування у Волинській області. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. Серія «Географія». 2014. № 1. С. 223–231.

Писаренко П.В. Оцінка екологічного стану сільськогосподарських угідь Полтавської області. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2009. № 2. С. 23–26.

Питуляк М.Р., Питуляк М.В., Жулканич Б.М. Природно-екологічні особливості та сучасний стан землекористування в ОТГ Хмельницької області. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. 2022. № 4 (43). С. 121–126. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.19>.

Питуляк М.Р., Питуляк М.В., Дем'янчук П.М. Еколого-господарський стан земельних ресурсів Кам'янець-Подільського району Хмельницької області. *Науковий вісник Чернівецького університету*. Серія «Географія». 2023. Вип. 845. С. 12–19. <https://doi.org/10.31861/geo.2023.845.12-19>.

Попова О.А. Екодіагностика природо-господарської організації території України: агроландшафтний аспект. *Економіка і прогнозування*. 2012. № 3. С. 92–101.

Природа Хмельницької області: монографія / за ред. К.І. Геренчука. Львів : Вища школа, 1980. 152 с.

Про землеустрій : Закон України від 22 травня 2003 р. № 858-IV [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858&15#Text> (дата звернення 17.04.2025).

Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 р. : Закон України від 28 лютого 2019 р. № 2697-VIII [Електронний ресурс]. URL: <https://esopolitic.com.ua/ua/news/ekologichna-politika-ukraini-cili-napryami-ta-instrumenti-realizacii/> (дата звернення 16.04.2025).

Руденко В.П. Географія природно-ресурсного потенціалу України : у 3-х ч. Чернівці : Чернівецький національний університет, 2010. 552 с.

Сайко В.Ф. Наукові підходи щодо раціонального землекористування в умовах здійснення аграрної реформи. *Вісник аграрної науки*. 2000. № 5 (565). С. 5–10.

Тарасюк Н.А., Реміз С.А. Аналіз та оцінка еколого-господарського стану земельних угідь Рівненської області. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна*. Серія «Геологія. Географія. Екологія». 2016. Вип. 44. С. 153–160.

Третяк А.М., Третяк Р.А., Шквар М.І. Методичні рекомендації оцінки екологічної стабільності агроландшафтів та сільськогосподарського землекористування. Київ : Ін-т землеустрою УАН, 2001. 15 с.

Третяк А.М., Третяк В.М., Трофименко П.І., Прядка Т.М., Трофименко Н.В. Стале (збалансоване) землекористування: понятійний базис та методологія інституціалізації. *Агросвіт*. 2021. № 24. С. 11–22.

Третяк А.М., Третяк В.М., Прядка Т.М. Земельні ресурси та їх використання : навчальний посібник / за заг. ред. А.М. Третяка. Біла Церква : ТОВ «Білоцерківдрук», 2022. 304 с.

Hubar Yu., Hulko O., Khavar Yu., Vynarchyk L., Sai V. Ecological and economic aspects of effective use of land resources – potential of Vinnytsia region. *Geodesy and Cartography Polish Academy of Sciences*. 2020. Vol. 69. № 2. <https://doi.org/10.24425/gac.2020.131086>.

Sannikov D., Kovtun V., Kovtun M., Terekhova T., Ohanova K. Agricultural Land Use in Ukraine: Ensuring and Implementing the Right to a Safe Environment. *Scientific Horizons*. 2021. Vol. 24. № 9. P. 86–92. <https://doi.org/10.48077/scihor>.

References

Holovne upravlinnia Derzhheokadastru v Khmelnytskii oblasti [Main Department of the State Geocadastru in Khmelnytskyi region]. [Electronic resource] URL: <https://khmelnytska.land.gov.ua> (access date 15.05.2025) [in Ukrainian].

Ekolohichniy pasport Khmelnytskoi oblasti [Ecological passport of Khmelnytskyi region]. [Electronic resource] URL: <https://www.adm-km.gov.ua/wp-content/uploads/> (access date 16.03.2025) [in Ukrainian].

Zakon Ukrainy “Pro Osnovni zasady (strategiiu) derzhavnoi ekolohichnoi polityky Ukrainy na period do 2030 r.” vid 28 liutoho 2019 r. № 2697–VIII [Law of Ukraine “On the Basic Principles (Strategy) of the State Environmental Policy of Ukraine for the Period Until 2030” dated February 28, 2019, № 2697–VIII]. [Electronic resource] URL: <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/ekologichna-politika-ukraini-cili-napryami-ta-instrumenti-realizacii/> (access date 16.04.2025) [in Ukrainian].

Zemelni resursy Ukrainy (1998) [Land resources of Ukraine] / za red. V.V. Medvedieva, T.M. Laktionovoi. Kyiv: Ahrarna nauka, 150 s. [in Ukrainian].

Pavlovska, T.S. (2014). Heoekolohichna diahnozyka terytorialnoi struktury zemlekorystuvannia u Volynskii oblasti [Geoecological diagnostics of the territorial structure of land use in the Volyn region]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka* [Scientific notes of the Volodymyr Hnatyuk Ternopil National Pedagogical University]. Serii: Heohrafiia, 1, 223–231 [in Ukrainian].

Pysarenko, P.V. (2009). Otsinka ekolohichnoho stanu silskohospodarskykh uhid Poltavskoi oblasti [Assessment of the ecological state of agricultural lands of Poltava region]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy]*. Poltava, 2, 23–26 [in Ukrainian].

Pytuliak, M.R., Pytuliak, M.V., & Zhulkanych, B.M. (2022). Pryrodno-ekolohichni osoblyvosti ta suchasnyi stan zemlekorystuvannia v OTH Khmelnytskoi oblasti [Natural and ecological features and the current state of land use in the Khmelnytskyi region]. *Ekolohichni nauky: naukovo-praktychnyi zhurnal [Ecological sciences: scientific and practical journal]*, 4 (43), 121–126. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.19> [in Ukrainian].

Pytuliak, M.R., Pytuliak, M.V., & Demianchuk, P.M. (2023). Ekoloho-hospodarskyi stan zemelnykh resursiv Kamianets-Podilskoho raionu Khmelnytskoi oblasti [Ecological and economic condition of land resources of Kamianets-Podilskyi district of Khmelnytskyi region]. *Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu [Scientific Bulletin of Chernivtsi University]*. Ser. Heohrafiia. Chernivtsi, 845, 12–19. <https://doi.org/10.31861/geo.2023.845.12-19> [in Ukrainian].

Popova, O.L. (2012). Ekodiahnozyka pryrodno-hospodarskoi orhanizatsii terytorii Ukrainy: ahrolandshaftnyi aspekt. *Ekonomika i prohnozuvannia*, 3, 92–101 [in Ukrainian].

Prymak, I.D., Manko, Yu.P., Ridei, N.M., Mazur, V.A., Horshchar, V.I., Konoplov, O.V., Palamarchuk, S.P., & Prymak O.I. (2010). Ekolohichni problemy zemlerobstva [Environmental problems of agriculture]. Kyiv, 456 s. [in Ukrainian].

Pryroda Khmelnytskoi oblasti: monohrafiia [Nature of Khmelnytskyi region: monograph] / za red. K.I. Herenchuka. Lviv: Vyshcha shkola, 1980. 152 s. [in Ukrainian].

Pro zemleustrii: Zakon Ukrainy vid 22 travnia 2003 r. № 858–IV [On land management: Law of Ukraine № 858–IV of May 22, 2003]. [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858&15#Text> (access date 17.04.2025) [in Ukrainian].

Rudenko, V.P. (2010). Heohrafiia pryrodno-resursnoho potentsialu Ukrainy. U 3-kh chastynakh [Geography of Ukraine's natural resource potential. In 3 parts]. Chernivtsi: Chernivetskyi natsionalnyi universytet, 552 s. [in Ukrainian].

Saiko, V.F. (2000). Naukovi pidkhody shchodo ratsionalnoho zemlekorystuvannia v umovakh zdiisnennia ahrarnoi reformy [Scientific approaches to rational land use in the context of agrarian reform. *Visnyk ahrarnoi nauky* [Bulletin of Agrarian Science], 5 (565), 5–10 [in Ukrainian].

Tarasiuk, N.A., & Remiz, S.A. (2016). Analiz ta otsinka ekoloho-hospodarskoho stanu zemelnykh uhid Rivnenskoï oblasti [Analysis and assessment of the ecological and economic condition of land in Rivne region]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina* [Bulletin of the V.N. Karazin Kharkiv National University]. Seriiia "Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia", 44, 153–160 [in Ukrainian].

Tretiak, A.M., Tretiak, R.A., & Shkvar, M.I. (2001). Metodychni rekomendatsii otsinky ekolohichnoi stabilnosti ahrolandshaftiv ta silskohospodarskoho zemlekorystuvannia [Methodological recommendations for assessing the ecological stability of agricultural landscapes and agricultural land use]. Kyiv: In-t zemleustroiu UAAN, 15 s. [in Ukrainian].

Tretiak, A.M., Tretiak, V.M., Trofymenko, P.I., Priadka, T.M., & Trofymenko, N.V. (2021) Stale (zbalansovane) zemlekorystuvannia: poniatiinyi bazys ta metodolohiia instytuttsiolizatsii [Sustainable (balanced) land use: conceptual basis and methodology of institutionalization]. *Ahrosvit* [Ahrosvit], 24, 11–22 [in Ukrainian].

Tretiak, A.M., Tretiak, V.M., & Priadka, T.M. (2022). Zemelni resursy tayikh vykorystannia: navch. pos. [za zah. red. A.M. Tretiaka] [Land resources and their use: educational program]. Bila Tserkva: TOV "Bilotserkivdruk", 304 s. [in Ukrainian].

Hubar, Yu., Hulko, O., Khavar, Yu., Vynarchyk, L., & Sai, V. (2020). Ecological and economic aspects of effective use of land resources – potential of Vinnytsia region. *Geodesy and Cartography Polish Academy of Sciences*, 69 (2). <https://doi.org/10.24425/gac.2020.131086> [in English].

Sannikov, D., Kovtun, V., Kovtun, M., Terekhova, T., & Ohanova, K. (2021). Agricultural Land Use in Ukraine: Ensuring and Implementing the Right to a Safe Environment. *Scientific Horizons*, 24 (9), 86–92. <https://doi.org/10.48077/scihor> [in English].

Отримано: 07.07.2025

Прийнято: 12.08.2025

Опубліковано: 17.10.2025





УДК 631.41:631.95:712.25 (477.44-25)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.39>

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ ЗИМОВОГО ЗАКРИТТЯ ЛУНОК НА АГРОХІМІЧНИЙ СТАН ҐРУНТУ ПІД ДЕРЕВНИМИ НАСАДЖЕННЯМИ В УМОВАХ МІСТА ВІННИЦІ

А. М. Піддубна¹, М. В. Матусяк², О. І. Циганська³, С. О. Панкова⁴

Деревні насадження мають вагоме значення у процесах міського будівництва та благоустрою населених пунктів. Вони є одним із ключових засобів покращення умов життя мешканців міст, селищ і сіл. Завдяки таким насадженням поліпшується мікроклімат і підвищується естетична привабливість архітектурного середовища. Зелені зони виконують важливі функції, спрямовані на забезпечення комфортного життя населення.

У сучасному містобудуванні взаємодія між природним середовищем і міською інфраструктурою вважається фундаментом розвитку будь-якого міста – незалежно від його розмірів. Тому зелені насадження розглядаються як повноцінні структурні елементи міського простору. Вони відіграють ключову роль в організації територій, формуючи композиційні центри, зони поділу й обрамлення міських житлових масивів.

Безперечно, для забезпечення повноцінного росту та розвитку дерев необхідно створити сприятливі умови зростання, що включають не лише належний догляд, а й урахування зовнішніх чинників, зокрема техногенного впливу. Велике значення має агрохімічний стан ґрунту, який істотно залежить від застосовуваних технологій догляду, зокрема способу зимового закриття лунок. Такий підхід дозволяє зберегти вологу, зменшити ерозійні процеси, вплив негативних температур і забезпечити кращі умови для кореневої системи дерев у міському середовищі.

¹ доктор філософії з агрономії,
старший викладач кафедри лісового та садово-паркового господарства
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)
e-mail: piddubnaantonina@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0204-1338

² кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри лісового та садово-паркового господарства
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)
e-mail: mikhailo1988@gmail.com
ORCID: 0009-0007-0063-7713

³ кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри лісового та садово-паркового господарства
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)
e-mail: lenkatsiganskaya@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4046-1034

⁴ доктор філософії з агрономії,
старший викладач кафедри лісового та садово-паркового господарства
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)
e-mail: pankovavnau@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5975-5251

У статті розглянуто вплив технології зимового закриття лунок на агрохімічний стан ґрунту під деревними насадженнями. Дослідження проведено з метою оцінювання змін основних агрохімічних показників ґрунту в результаті застосування практики закриття лунок у зимовий період. Установлено, що технологія зимового закриття лунок сприяє зменшенню втрат вологи, стабілізації температурного режиму кореневої системи та збереженню родючості ґрунту. Результати досліджень показали, що використання закритих лунок у зимовий період дозволяє суттєво зменшити рівень засоленості ґрунту. Найбільш суттєве його зниження спостерігається на найбільш засоленіх локаціях, завдяки застосуванню закритих лунок, що на вулицях Соборній і Пирогова, рівень засоленості знизився на 75,3 та 73% відповідно.

На вулиці Замостянській, де показники засоленості були в межах норми, закриття лунки на зиму дозволило зменшити кількість солі у ґрунті на 37%, а на вулиці Порики, де рівень засоленості був низький, завдяки закриттю лунок вміст солі у ґрунті зменшився на 28,7%.

Ключові слова: пристовбурові лунки, міський ґрунт, засоленість, кислотність, озеленення, ландшафтна архітектура.

THE IMPACT OF WINTER PIT CLOSURE TECHNOLOGY ON THE AGROCHEMICAL STATE OF SOIL UNDER TREE PLANTINGS IN THE URBAN CONDITIONS OF VINNYTSIA

A. M. Piddubna, M. V. Matusiak, O. I. Tsyhanska, S. O. Pankova

Tree plantings play a significant role in urban development and the improvement of human settlements. They are one of the key tools for enhancing the living conditions of residents in cities, towns, and villages. These plantings contribute to improving the microclimate and increasing the aesthetic appeal of the architectural environment. Green zones serve essential functions aimed at ensuring a comfortable urban life.

In modern urban planning, the interaction between the natural environment and urban infrastructure is considered a fundamental aspect of a city's development, regardless of its size. Therefore, green plantings are viewed as integral structural elements of urban space. They play a crucial role in the organization of territories by forming compositional centers, separation zones, and framing residential areas.

Undoubtedly, in order to ensure the healthy growth and development of trees, it is necessary to create favorable growth conditions, which include not only proper care but also the consideration of external factors, particularly technogenic influences. The agrochemical state of the soil is of great importance and is significantly influenced by the applied maintenance technologies, especially the method of winter pit closure. This approach helps preserve soil moisture, reduce erosion processes and the impact of low temperatures, and ensures better conditions for the root systems of trees in urban environments.

This article examines the impact of winter pit closure technology on the agrochemical state of soil under tree plantings. The study was conducted to assess changes in the main agrochemical indicators of the soil as a result of applying the winter pit closure method. It was found that the winter pit closure technology helps reduce moisture loss, stabilize the temperature regime of the root system, and maintain soil fertility.

The research results showed that the use of closed pits during the winter period significantly reduces soil salinity levels. The most notable reductions were observed in the most saline locations: on Soborna Street and Pirogova Street, salinity levels decreased by 75,3 and 73%, respectively.

On Zamostianska Street, where salinity levels were within normal limits, winter pit closure allowed for a 37% reduction in soil salt content. On Poryka Street, where salinity was low, the salt content in the soil decreased by 28,7% due to the closure of pits for the winter period.

Key words: tree pits, urban soil, salinity, acidity, landscaping, landscape architecture.

Вступ

Умови міських екосистем суттєво відрізняються від сільських через високий рівень антропогенного навантаження (Шолок, 2014). Дослідження показують, що ґрунти в межах міст часто деградовані, ущільнені, мають знижений вміст органічної речовини та погіршену структуру. Під деревними насадженнями ці процеси частково ком-

пенсуються, однак ефективність залежить від застосовуваних агротехнічних заходів (Беспалько, 2022).

Зимовий період має критичне значення для збереження агрохімічного балансу ґрунту. Відкрита лунка взимку сприяє промерзанню ґрунту, вимиванню елементів живлення та втраті мікробіологічної активності. Згідно з дослідженнями, техноло-

гія зимового закриття лунок сприяє збереженню тепла, вологи, органічної речовини, а також покращує умови для весняного старту кореневої системи (Швець та ін., 2019; Зібцева і Юхновський, 2019).

Основними показниками агрохімічного стану ґрунту є вміст гумусу, азоту, фосфору, калію, рН, а також мікробіологічна активність. Вплив лісонасаджень на ці показники досліджували багато вчених, зокрема в умовах міста (Василенко та ін., 2023). Встановлено, що регулярне мульчування та захист пристовбурових кругів знижують кислотність ґрунту та сприяють накопиченню елементів живлення.

Більшість сучасних досліджень вказують на те, що міські ґрунти зазнають комплексного техногенного навантаження: забруднення важкими металами, зростання рівня засоленості через використання реагентів узимку, ущільнення через інтенсивний рух транспорту й пішоходів. Усе це погіршує аерацію та водопроникність ґрунту, змінює його кислотність, порушує біологічну активність (Вергеліс, 2021)

Особливо серйозною є проблема вторинного засолення ґрунтів, спричиненого використанням проти ожеледних матеріалів (ДСТУ 8853:2019). За даними досліджень Центру урбаністичних ґрунтів Університету Міннесоти (University ..., 2024), уже за концентрації NaCl понад 500 г/кг виникає ризик загибелі кореневих систем міських дерев.

Відповідно до результатів досліджень Університету Гента (Kimpe et al., 2000), відкриті або належно оформлені пристовбурові лунки забезпечують природний дренаж і поглинання дощової води, сприяють промиванню ґрунту і зменшенню накопичення солей. Наявність лунок дозволяє уникнути «ефекту міської пустелі» – коли ущільнене асфальтове або бетонне покриття цілком блокує природний кругообіг вологи. За даними досліджень, деревні рослини в містах з облаштованими лунками мали на 25–30 більший приріст надземної маси порівняно з рослинами без лунок (Інститут ..., 2023), що безпосередньо пов'язано із кращими агрохімічними умовами в зоні кореневої системи.

Особливо ефективним є поєднання закриття лунок із використанням органічної мульчі, що не лише захищає ґрунт від засолення, але й поступово збагачує його поживними речовинами внаслідок розкладання (Лісвал, 2021).

Використання закритих лунок узимку справді може сприяти зниженню засоленості ґрунту, особливо в регіонах з підвищеним рівнем випаровування або де активно використовуються солі для боротьби з ожеледицею (Балюк і Носоненко, 2008).

Закриті лунки – це спеціальні отвори або резервуари у ґрунті, які накриваються для запобігання потраплянню опадів, снігу або солей (Grey et al., 2019). Узимку вони виконують безліч корисних функцій.

Насамперед це запобігання накопиченню солей: закриття лунок не дозволяє талому снігу, який може містити солі (наприклад, з доріг або тротуарів), проникати у ґрунт. Також збереження вологості: обмеження випаровування і збереження структури ґрунту сприяють меншій концентрації солей у верхньому шарі (Dmuchowski et al., 2013).

Закриті лунки можуть бути частиною дренажної системи, яка допомагає виводити надлишок вологи разом із розчиненими солями (Гудим та ін., 2016). Цей метод особливо корисний у сільському господарстві або садівництві для захисту чутливих до солей рослин, як-от виноград, овочі або ягідні культури.

У відкритих лунках тала вода легко просочується у ґрунт, несе за собою розчинені солі з поверхні. Закриттям лунок цей процес зменшується, тим самим знижується ризик накопичення солей у кореневій зоні рослин (Langenraber et al., 2021).

У деяких районах узимку можуть випадати опади, які вже містять домішки солей (наприклад, в умовах близькості до автомобільних трас або промислових зон). Закриті лунки допомагають ізолювати ґрунт від цього впливу, такі лунки використовуються для внесення чистої води або поживних розчинів у період відлиги, коли потрібно промити солі з кореневої зони. Закриття дозволяє контролювати момент, кількість і склад вологи, що надходить у ґрунт (Борисов і Кофанов, 2018).

Матеріал і методи

Дослідження ґрунту в лунках, де ростуть дерева, проводилось протягом 2024 та 2025 рр. У його межах спочатку були взяті зразки землі у відкритій лунці. У наступний зимовий період цю ж ділянку було оголоджено, тобто сформовано закрити лунку. Весною ділянки були розкриті, а зразки ґрунту – взяті повторно. Загалом, дослідження проводили на чотирьох локаціях: вулиці Порики, вулиці Пирогова, вулиці Замостянській та вулиці Соборній.

Локальні дослідження в умовах міста Вінниці ще обмежені, однак попередні роботи демонструють потенціал застосування орієнтованих на природу технологій з догляду за деревами, зокрема закриття лунок восени, що суттєво впливає на агрофізичні властивості ґрунту.

Результати та їх обговорення

За результатами дослідження кислотності води та ґрунту залежно від способу вирощування дерев у різних локаціях міста Вінниці у 2024 р. (табл. 1) виявлено, що рН води коливається в межах від 8,5 до 9,3, що свідчить про лужне середовище, також рН ґрунтового розчину має значення від 7,4 до 8,0, тобто також переважає нейтральне або слаболужне середовище. Здебільшого закриті лунки мають вищий рН ґрунтового розчину, що свідчить про кращу буферність ґрунту та потенційно кращі умови для росту дерев. Найвищий показник кислотності ґрунту рН ґрунтового розчину 8,0 спостерігається на вулиці Порики (закрита лунка).

Отже, у результаті проведеного аналізу даних досліджень необхідно зазначити лужну реакцію водного середовища в міських умовах, що може впливати на засвоєння мікроелементів рослинами. Незначні коливання рН ґрунтового розчину вказує на буферну здатність ґрунтів, особливо в закритих лунках, де реакція є більш стабільною. Це створює сприятливі умови для зростання дерев в умовах міського середовища за умови правильного підбору видів.

Щодо рівня засоленості ґрунту (визначеної за електропровідністю в $\mu\text{S}/\text{cm}$ і концентрацією розчинених солей у ppm) у різних частинах міста Вінниці у 2024 р. залежно від способу вирощування дерев, відкрита або закрита лунка (табл. 2).

Чіткої залежності між способом вирощування та рівнем засоленості не спостерігається. У деяких випадках, як-от на вулиці Соборній і вулиці Замостянській, закриті лунки мали дещо вищі показники засоленості – 355 і 326 $\mu\text{S}/\text{cm}$ відповідно, порівняно з відкритими – 290 та 363 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Водночас на вулиці Пирогова рівень засоленості у закритій лунці 410 $\mu\text{S}/\text{cm}$, перевищує аналогічний показник у відкритій – 290 $\mu\text{S}/\text{cm}$, що свідчить про можливий вплив локальних умов або відмінностей у зимовому догляді.

Найнижчі значення засоленості були зафіксовані на вулиці Порики, особливо в закритих лунках – 143 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (72 ppm). Це може свідчити про кращі умови дренажу та менший вплив протиожеледних засобів у цій зоні.

Загалом, результати 2024 р. демонструють високу варіативність засоленості ґрунтів, що може бути зумовлено як погодними чинниками, так і різною інтенсивністю антропогенного навантаження в різних районах міста.

Здебільшого закриті лунки мають вищі показники засоленості порівняно з відкритими на тих самих вулицях (виняток – вулиця Замостянська).

Показники засоленості варіюють від 143 до 410 $\mu\text{S}/\text{cm}$, що вказує на різну інтенсивність впливу міських чинників (зимові посищення, полив, тип ґрунту тощо).

Це вказує на їхню ефективність у зменшенні впливу негативних факторів урбанізації, зокрема потрапляння солей під час зимових обробок. Проте вплив локальних умов (гідрологія, дренаж, догляд) також суттєвий і потребує додаткового вивчення.

Дослідження, які були проведені у 2025 р., щодо кислотності води та ґрунту

Таблиця 1

Кислотність води та ґрунту залежно від способу вирощування дерев на різних локаціях міста Вінниці, 2024 р.

№	Розташування дерев, спосіб вирощування	Кислотність	
		рН води	рН ґрунтового розчину
1	вул. Соборна (відкрита лунка)	9,3	7,4
2	вул. Соборна (закрита лунка)	9,3	7,7
3	вул. Пирогова (закрита лунка)	8,7	7,4
4	вул. Пирогова (відкрита лунка)	8,7	7,6
5	вул. Замостянська (відкрита лунка)	9,2	7,8
6	вул. Замостянська (закрита лунка)	9,0	7,6
7	вул. Порики (відкрита лунка)	8,5	7,8
8	вул. Порики (закрита лунка)	8,7	8,0

Таблиця 2

Засоленість ґрунту залежно від способу вирощування дерев на різних локаціях міста Вінниці, 2024 р.

№	Розташування дерев, спосіб вирощування	Засоленість	
		µS/см	ppm (мг/л)
1	вул. Соборна (відкрита лунка)	290	143
2	вул. Соборна (закрита лунка)	355	177
3	вул. Пирогова (закрита лунка)	410	192
4	вул. Пирогова (відкрита лунка)	290	136
5	вул. Замостянська (відкрита лунка)	363	189
6	вул. Замостянська (закрита лунка)	326	176
7	вул. Порика (відкрита лунка)	158	79
8	вул. Порика (закрита лунка)	143	72

Таблиця 3

Кислотність води та ґрунту залежно від способу вирощування дерев на різних локаціях міста Вінниці, 2025 р.

№	Розташування дерев, спосіб вирощування	Кислотність	
		pH води	pH ґрунтового розчину
1	вул. Соборна (відкрита лунка)	8,8	7,8
2	вул. Соборна (закрита лунка)	8,7	7,3
3	вул. Пирогова (закрита лунка)	8,6	7,7
4	вул. Пирогова (відкрита лунка)	9,0	7,7
5	вул. Замостянська (відкрита лунка)	9,1	7,4
6	вул. Замостянська (закрита лунка)	8,8	7,0
7	вул. Порика (відкрита лунка)	8,9	7,8
8	вул. Порика (закрита лунка)	8,8	7,8

залежно від способу вирощування дерев (табл. 3) виявили, що всі значення pH води перевищують 7,0, що свідчить про лужну реакцію. Найвищий показник pH – 9,1 – виявився на вулиці Замостянській, у відкритій лунці, а найнижчий показник pH (8,6) – на вулиці Пирогова в закритій лунці.

Тобто вся вода, яка аналізувалась, має надмірну лужність, що може впливати на доступність поживних речовин для рослин.

Щодо pH ґрунтового розчину, усі значення теж вище за 7,0, що свідчить про слабку або середню лужність ґрунту. Найвищий показник pH (7,8) у трьох випадках, на вулиці Соборній (відкрита лунка), вулиці Порика (відкрита і закрита лунки), а найнижчий показник pH (7,0) на вулиці Замостянській (закрита лунка).

pH ґрунтового розчину в межах 7,0–7,8 – це допустимий рівень, але за верхніх значень може зменшуватись засвоєння мікроелементів (заліза, марганцю, бору тощо).

Якщо порівняти відкриті та закриті лунки, то можна зробити висновок, що у відкритих лунках лужність води була дещо вища, ніж у закритих, а pH ґрунтового роз-

чину в закритих лунках мав більший діапазон, зокрема найнижчий показник 7,0.

За результатами дослідження можна зробити висновок, що в усіх ділянках зафіксована лужна реакція середовища як води, так і ґрунту. Відкриті лунки частіше мають вищий pH води, ніж закриті. Значення pH вказують на неідеальні умови для деяких видів дерев, які краще почуваються у слабкокислому або нейтральному середовищі (pH 6–7). Це може впливати на їхній ріст, засвоєння мінералів і загальний стан.

Таблиця 4 демонструє рівень засоленості ґрунту (у показниках електропровідності (µS/см) і концентрації розчинених солей (ppm)) залежно від способу вирощування дерев (у відкритих і закритих лунках) у різних частинах міста Вінниці у 2025 р.

З аналізу даних видно, що загалом закриті лунки характеризувалися значно нижчим рівнем засоленості порівняно з відкритими. Найвищі значення електропровідності було зафіксовано на вулиці Соборній (відкрита лунка) – 1 280 µS/см (640 ppm), що вчетверо перевищує показник для тієї ж локації у варіанті із закритою лункою (316 µS/см).

Таблиця 4

Засоленість ґрунту залежно від способу вирощування дерев на різних локаціях міста Вінниці, 2025 р.

№	Розташування дерев, спосіб вирощування	Засоленість	
		μS/см	ppm (мг/л)
1	вул. Соборна (відкрита лунка)	1 280	640
2	вул. Соборна (закрита лунка)	316	158
3	вул. Пирогова (закрита лунка)	952	476
4	вул. Пирогова (відкрита лунка)	254	127
5	вул. Замостянська (відкрита лунка)	340	170
6	вул. Замостянська (закрита лунка)	211	105
7	вул. Порика (відкрита лунка)	181	91
8	вул. Порика (закрита лунка)	128	64

Аналогічна тенденція спостерігається і на інших вулицях.

Найнижчий рівень засоленості відмічено на вулиці Порика (закрита лунка) – 128 μS/см (64 ppm). Отримані результати свідчать про те, що використання закритих лунок сприяє зниженню накопичення солей у пристовбуровій зоні, що є позитивним чинником для збереження родючості міського ґрунту та підтримки здоров'я деревних насаджень.

Висновки

За результатами проведених досліджень встановлено перевагу закритих лунок у зменшенні засоленості та кислотності ґрунту в міських умовах. Це є позитивним фактором, оскільки висока концентрація солей у ґрунті може негативно впливати на водопоглинання кореневої системи, спричиняти токсичність і погіршувати загальний стан деревних насаджень. Отже, застосування технологій закритих лунок може розглядатися як ефективний агротехнічний захід для покращення умов зростання дерев у міському середовищі.

Завдяки застосуванню закритих лунок на локаціях, що на вулицях Соборній і Пирогова, рівень засоленості знизився на 75,3 та 73% відповідно.

На вулиці Замостянській, де показники засоленості були в межах норми, огороження лунки на зиму дозволило зменшити кількість солі у ґрунті на 37%, а на вулиці

Порика, де рівень засоленості був низький, завдяки закриттю лунок вміст солі у ґрунті зменшився на 28,7%.

Виходячи з наших досліджень, можемо зробити висновок, що ситуація є різною в різних частинах міста. Результати дослідження чітко свідчать, що застосування закритих лунок у найбільш засолені ділянках дозволяє суттєво покращити ситуацію.

В умовах стрімкої урбанізації стан міських ґрунтів набуває все більшого значення як для збереження зелених насаджень, так і для підтримки екологічного балансу міст. Одним з актуальних прийомів підтримки належного стану ґрунтів є формування та догляд за пристовбуровими лунками навколо дерев. Пристовбурові лунки не лише створюють фізичний захист кореневої зони, а й відіграють важливу роль у регулюванні агрохімічних показників ґрунту – зокрема його засоленості, вологості, аерації, вмісту поживних речовин.

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні дослідження в інших містах з різним кліматом і ступенем урбанізації, вивченні ефективності альтернативних методів мульчування (органічні і неорганічні матеріали чи комбіновані підходи), а також у проведенні мікробіологічного аналізу ґрунту для оцінювання змін у структурі та функціонуванні ґрунтової мікробіоти під впливом зимового закриття лунок.

Список використаної літератури

- Балюк С.А., Носоненко О.А. Класифікація зрошуваних ґрунтів України за ступенем засолення, солонцюватості та лужності. *Ґрунтознавство*. 2008. № № 3–4. С. 27–32.
- Беспалько Р.І. Агровиробничі групи ґрунтів і агрохімічна паспортизація земель сільськогосподарського призначення в Україні : навчальний посібник. Чернівці, 2022. 160 с.
- Борисов О.О., Кофанов О.Є. Екологічне навантаження з боку автотранспортних потоків на придорожні території рекреаційного призначення. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2018. № 4 (54). С. 124–133.

Гудим М.Г., Кудряченко О.П., Гринь С.О. Озеленення міських територій. Альтернативне озеленення. *Молодий вчений*. 2016. № 12. С. 33–36.

ДСТУ 8853:2019. Матеріали протиожеледні для автомобільних доріг. Технічні умови. (Чинний від 2020-01-01). Київ : Мінрегіон України, 2019. 13 с.

Вергеліс В.І. Зміна еколого-агрохімічних показників ґрунту залежно від його ступеня змитості. *Сільське господарство та лісівництво*. 2021. № 3 (22). С. 209–220. <https://doi.org/10.37128/2707-5826>.

Василенко О.В., Балабак О.А., Балабак А.В., Нікітіна О.В., Гурський І.М. Оцінка стану міських ґрунтів як засіб збереження екологічної стабільності урбоєкосистеми. *Екологічні науки*. 2023. № 1 (46). С. 139–143. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.1-46.23>.

Зібцева О.В., Юхновський В.Ю. Аналітична оцінка осучаснених норм озеленення міст. *Біоресурси і природокористування. Лісівництво*. 2019. № 11 (5–6). С. 131–150. DOI: 10.3390/su16114795.

Основні результати наукової діяльності 2019–2023 рр. Інститут ґрунтознавства НАН України [Електронний ресурс]. URL: <https://issar.com.ua/osnovni-rezultati-naukovo%20d1%97-diyalnosti-2019-2023-rr/> (дата звернення 21.07.2025).

Лісовал А.П. Методи агрохімічних досліджень. Київ : НАУ, 2021. 190 с.

Швец В.В., Калініченко В.С., Кудлаєнко О.О. Аналіз та вдосконалення зеленого каркаса міста на прикладі м. Вінниці. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2013. № 1. С. 83–87.

Шолок І.В. Порівняльний аналіз озеленення великих міст України та Європи. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна*. Серія «Екологія». 2014. С. 42–49.

Dmuchowski W., Waczevska-Dąbrowska A., Gozdowski D., Bragoszewska P. Effect of salt stress on the chemical composition of leaves of different tree species in urban environment. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2013. № 22. P. 987–994.

Grey V., Livesley S., Fletcher T., Szota C. Tree pits to help mitigate runoff in dense urban areas. *Journal of Hydrology*. 2018. Vol. 565. P. 400–410. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.038>.

Kimpe C., Morel J.-L. Urban Soil Management: A Growing Concern. *Soil Science*. 2000. № 165. P. 31–40. <https://doi.org/10.1097/00010694-200001000-00005>.

Langergraber G., Castellar J.A.C., Pucher B., Baganz G.F.M., Milosevic D., Andreucci M.B., Kearney K., Pineda-Martos R., Atanasova N. A Framework for Addressing Circularity Challenges in Cities with Nature-Based Solutions. *Water*. 2021. № 13 (17). P.1–19. <https://doi.org/10.3390/w13172355>.

University of Minnesota Soil Testing Laboratory [Електронний ресурс]. URL: <https://soiltest.cfans.umn.edu/> (дата звернення: 19.07.2025).

References

Baluk, S.A., & Nosonenko, O.A. (2008). Klyasyfikatsiia zroshuvanykh ґруntiv Ukrainy za stupenem zasoleniia, solonetzivnosti ta luzhnosti [Classification of irrigated soils of Ukraine by the degree of salinity, solonetzicity and alkalinity]. *Hruntoznaustvo [Soil Science]*, 9 (3–4), 27–32 [in Ukrainian].

Bespalko, R.I. (2022). Ahrovyrobnychi hrupy hruntiv i ahrokhimichna pasportyzatsiia zemel silskohospodarskoho pryznachennia v Ukraini [Agro-production soil groups and agrochemical certification of agricultural lands in Ukraine]. Chernivtsi, 160 p. [in Ukrainian].

Borysov, O.O., & Kofanov, O.Ye. (2018). Ekolohichne navantazhennia z boku avtotransportnykh potokiv na prydozhni terytorii rekreatsiinoho pryznachennia [Ecological load from motor vehicle flows on roadside recreational areas]. *Enerhetyka: Ekonomika, Tekhnolohii, Ekolohiia – Energy: Economics, Technologies, Ecology*, 4 (54), 124–133 [in Ukrainian].

Gudym, M.H., Kudriachenko, O.P., & Hryn, S.O. (2016). Ozelenennia miskykh terytorii. Alternatyvne ozelenennia [Greening of urban areas. Alternative landscaping]. *Molodyi Vchenyi [Young Scientist]*, 12, 33–36 [in Ukrainian].

State Standard of Ukraine (DSTU) 8853:2019. (2019). Materialy protyozheledni dlia avtomobilnykh dorih. Tekhnichni umovy [Anti-icing materials for motor roads. Technical specifications]. Kyiv: Minrehiion Ukrainy [in Ukrainian].

Verhelis, V.I. (2021). Zmina ekoloho-ahrokhimichnykh pokaznykiv ґрунту zalezho vid yoho stupenia zmytosti [Changes in ecological and agrochemical indicators of soils depending on erosion degree]. *Sil'ske Hospodarstvo ta Lisnytstvo [Agriculture and Forestry]*, 3 (22), 209–220. <https://doi.org/10.37128/2707-5826> [in Ukrainian].

Vasylenko, O.V., Balabak, O.A., Balabak, A.V., Nikitina, O.V., & Hurskyi, I.M. (2023). Otsinka stanu miskykh hruntiv yak zasib zberezhenia ekolohichnoi stabilnosti urboekosystemy [Assessment of urban soils as a means to preserve ecological stability in urban ecosystems]. *Ekolohichni nauky [Environmental Sciences]*, 1 (46), 139–143. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.1-46.23> [in Ukrainian].

Zibtseva, O.V., & Yukhnovskyi, V.Yu. (2019). Analitychna otsinka osuchasnenykh norm ozelenennia mist [Analytical evaluation of updated greening standards in cities]. *Biological Resources & Nature Management*, 11 (5–6), 13–140. <https://doi.org/10.3390/su16114795> [in Ukrainian].

Instytut gruntoznastva ta ahrokhimiyi Natsional'noyi akademiyi nauk Ukrayiny. Osnovni rezul'taty naukovoyi diyal'nosti 2019–2023 [Institute of Soil Science and Agrochemistry Research of the National Academy of Sciences of Ukraine. Main results of scientific activity 2019–2023]. [Electronic resource] URL: <https://issar.com.ua/osnovni-rezultati-naukovo%2019-2023-rr/> (access date 21.07.2025) [in Ukrainian].

Lisoval, A.P. (2021). Metody ahrokhimichnykh doslidzen [Methods of agrochemical research]. Kyiv: NAU, 190 p. [in Ukrainian].

Shvets, V.V., Kalinichenko, V.S., & Kudlaienko, O.O. (2013). Analiz ta vdoskonalennia zelenoho karkasa mista na prykladi m. Vinnytsi [Analysis and improvement of the green framework of the city on the example of Vinnytsia]. *Suchasni Tekhnologii, Materialy i Konstruktsii v Budivnytstvi [Modern Technologies, Materials and Structures in Construction]*, 1, 83–87 [in Ukrainian].

Sholok, I.V. (2014). Porivnialnyi analiz ozelenennia velykykh mist Ukrainy ta Yevropy [Comparative analysis of greening in large cities of Ukraine and Europe]. *Visnyk Kharkivskoho Natsionalnoho Universytetu imeni V.N. Karazina. Seria: Ekolohiia [Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series: Ecology]*, 42–49 [in Ukrainian].

Dmuchowski, W., Baczewska-Dąbrowska, A., Gozdowski, D., & Brągoszewska, P. (2013). Effect of salt stress on the chemical composition of leaves of different tree species in urban environment. *Fresenius Environmental Bulletin*, 22, 987–994 [in English].

Grey, V., Livesley, S., Fletcher, T., & Szota, C. (2018). Tree pits to help mitigate runoff in dense urban areas. *Journal of Hydrology*, 565, 400–410. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.038> [in English].

Kimpe, C., & Morel, J.-L. (2000). Urban soil management: A growing concern. *Soil Science*, 165, 31–40. <https://doi.org/10.1097/00010694-200001000-00005> [in English].

Langergraber, G., Castellar, J.A.C., Pucher, B., Baganz, G.F.M., Milosevic, D., Andreucci, M.B., Kearney, K., Pineda-Martos, R., & Atanasova, N. (2021). A framework for addressing circularity challenges in cities with nature-based solutions. *Water*, 13 (17). <https://doi.org/10.3390/w13172355> [in English].

Laboratoriya vyprovuvannya hruntiv Universytetu Minnesoty. Laboratoriya vyprovuvannya hruntiv [University of Minnesota Soil Testing Laboratory. Soil testing laboratory]. [Electronic resource] URL: <https://soiltest.cfans.umn.edu/> (access date 19.07.2025) [in English].

Отримано: 24.07.2025
Прийнято: 25.08.2025
Опубліковано: 17.10.2025





УДК 582: 581.524.2

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.40>

ІНВАЗІЇ ACER NEGUNDO L. У ПОРУШЕНІ ЕКОСИСТЕМИ ГІРНИЧИХ ОБ'ЄКТІВ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

І. В. Хом'як¹

Публікація присвячена актуальній тематиці – трансформації природних аборигенних екосистем інвазійними рослинами. Метою роботи є дослідження поширення клена ясенелистого в рослинних угрупованнях Українського Полісся та його ролі в їхній трансформації на території відкритих гірничих виробітків. Відповідно до мети було поставлено такі завдання: встановити фітоценотичне розмаїття рослинних угруповань, у флорі яких присутній *Acer negundo*; визначити синтаксони, сформовані завдяки трансформації аборигенних екосистем інвазією *Acer negundo*; проаналізувати фітоценотичне розмаїття угруповань за участі *Acer negundo*. У результаті дослідження було встановлено, що *Acer negundo* трапляється у 33 асоціаціях 15 класів рослинних угруповань. Це становить 9,9% від усіх асоціацій і 45,5% від усіх класів рослинності. Вид описаний у 119 описах, що становить 3,8% від їх загальної чисельності. Загальне число описів у 33 асоціаціях, у флорі яких трапляється *Acer negundo*, дорівнює 787 одиницям. Отже, частка уражених інвазією описів для цих асоціацій становить 15%. *Acer negundo* проникає в порушені екосистеми гірничих об'єктів на ранніх етапах самовідновлення природної рослинності. Поодинокі ювенільні особини виду трапляються в асоціаціях *Agropyretum repentis*, *Arctio-Artemisietum vulgare*, *Berteroëtum incanae* *Hyoscyamo nigri-Conietum maculati* та *Echio-Verbascetum* класу *Artemisietea vulgaris*. Цілковита трансформація екосистеми інвазією *Acer negundo* призводить до утворення асоціації *Chelidonio-Aceretum negundi*, яка належить до класу *Robinietaea* порядку *Chelidonio-Robinietalea pseudoacaciae* союзу *Chelidonio-Acerion negundi*. Ситуація з відсутністю контролю за інвазійними видами – трансформерами, що не внесені в карантинні списки, потребує негайного вирішення на законодавчому рівні. Особливо актуальні та необхідні зміни в законодавстві на фоні повномасштабних бойових дій, які сприяють активізації поширення інвазійних видів.

Ключові слова: інвазійні види – трансформери, самовідновлення рослинності, автогенні сукцесії.

¹ доктор біологічних наук, доцент,
доцент кафедри екології та географії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: ecosystem_lab@ukr.net
ORCID: 0000-0003-0080-0019

ACER NEGUNDO L. INVASIONS INTO DISTURBED ECOSYSTEMS OF MINING SITES IN THE TERRITORY OF UKRAINIAN POLISSYA

I. V. Khomiak

*The publication is devoted to the current topic – the transformation of natural aboriginal ecosystems by invasive plants. The work aims to study the distribution of *Acer negundo* in plant communities of Ukrainian Polissya and its role in their transformation in the territory of open mining operations.*

*Following the aim, the following tasks were set: to establish the phytocenotic diversity of plant communities in the flora of which *Acer negundo* is present; to determine the syntaxons formed due to the transformation of aboriginal ecosystems by the invasion of *Acer negundo*; to analyze the phytocenotic diversity of communities with the participation of *Acer negundo*. As a result of the study, it was found that *Acer negundo* occurs in 33 associations of 15 classes of plant communities. This is 9,9% of all associations and 45,5% of all vegetation classes. The species is described in 119 descriptions, which is 3,8% of their total number. The total number of descriptions in 33 associations, in the flora of which *Acer negundo* occurs, is 787 units. Therefore, the share of descriptions affected by the invasion for these associations is 15%. *Acer negundo* penetrates into disturbed ecosystems of mining facilities at the early stages of the self-renewal of natural vegetation. Single juvenile individuals of the species are found in the associations *Agropyretum repentis*, *Arctio-Artemisietum vulgaris*, *Berteroëtum incanae* *Hyoscyamo nigri-Conietum maculati*, and *Echio-Verbascetum* of the *Artemisietea vulgaris* class. Complete transformation of the ecosystem by *Acer negundo* invasion leads to the formation of the *Chelidonio-Aceretum negundi* association, which belongs to the *Robinietaea* class of the *Chelidonio-Robinietaea pseudoacaciae* order of the *Chelidonio-Acerion negundi* alliance. The situation with the lack of control over invasive species by transformers that are not included in the quarantine lists requires an immediate solution at the legislative level. Changes in legislation are especially relevant and necessary against the backdrop of full-scale military operations, which contribute to the intensification of the spread of invasive species.*

Key words: *invasive species, transformers, self-renewal of vegetation, autogenic successions.*

Вступ

Однією з актуальних проблем відносин людини й довкілля є трансформація природних аборигенних екосистем інвазійними рослинами. Незважаючи на широкий резонанс, зумовлений цією проблемою, класична прикладна екологія все ще приділяє не досить уваги поширенню видів-вселенців. Учені екологи та ботаніки концентруються на кількох групах таких видів, не розглядають проблему загалом. Агроекологів цікавлять ті види, які водночас є злісними карантинними бур'янами. Ботаніки зосереджені на систематиці та фітогеографії інвазійних рослин. Екологи працюють переважно з видами, які несуть пряму загрозу життю та здоров'ю людини, як-от борщівник сосновського чи амброзія полинолиста (Ferus, 2023).

Основні завдання прикладної екології охоплюють два великі розділи – виснаження ресурсів і забруднення навколишнього середовища. По суті це антропогенне зміщення показників факторів довкілля від оптимуму в бік мінімуму (виснаження ресурсів) або максимуму (забруднення). Останнє, опираючись на класичну класифікацію чинників середовища за Одумом, можна розділити на хімічне, фізичне та біотичне забруднення.

Біотичне забруднення виникає тоді, коли через пряму або опосередковану дію людини види виходять за межі своїх природних ареалів, а людина втрачає контроль над ними чи їхньою чисельністю. Поширення людиною інвазійних видів є одним із різновидів біотичного забруднення середовища, яке має прямі та негативні наслідки для людини й аборигенних екосистем, з нею пов'язаних (Fanal et al., 2022).

З іншого боку, існує фундаментальна проблема, яка пов'язує інвазії з теорією динаміки екосистем. Проникнення видів в екосистему за межею свого ареалу та ймовірне перетворення їх на щось нове становить неабиякий теоретичний інтерес. Процеси, які супроводжують переміщення видів-вселенців, можуть бути еволюцією екосистем, їхніми сукцесіями або флуктуаціями. Якщо під час першого вселення в аборигенну екосистему інвазійний вид цілком перебудовує її упаковку еконіш, то цей процес можна вважати еволюцією, тому що він веде до утворення екосистеми, якої раніше на планеті не було. Водночас новоутворені екосистеми стають частиною сукцесійних серій. Вони утворюються як під час відновлення рослинності після порушень, так за поширення інвазійних видів на нову територію

вже за межею свого ареалу. Тобто новостворена екосистема вже існувала, але її не було саме на цій території. Якщо проникнення виду відбувається без трансформації екосистем і має тимчасовий характер, то такі зміни в екосистемах можна віднести до флуктуацій (Gallardo et al., 2024).

По своїй суті рослинні інвазії – це процес спонтанної інтродукції. Інтродуковані види можуть по-різному адаптуватися до нового середовища існування. Частина з них не здатна до репродукції чи поширення за допомогою вегетативних органів. Вони залишаються в місці посадки, не проникають у сусідні аборигенні екосистеми, часто потребують особливого догляду з боку людини. Це інтродукти першого порядку. Інтродукти другого порядку здатні до генеративного та вегетативного розмноження та проникнення в аборигенні екосистеми. Існує також проміжний варіант, за якого відбувається розмноження інтродукованого виду, але його нові генерації не виходять за межі фітополя материнської особини (Хом'як, 2025).

Якщо інтродукти другого порядку мають здатність перетворювати аборигенну екосистему на нову, то в такому разі вони є інвазійними видами – трансформерами. Їх проникнення та поширення приводить до одних видів та сприяє проникненню нових. Це призводить до цілковитої перебудови упаковки еконіш аборигенної екосистеми. Такий процес часто несе кілька фундаментальних загроз. По-перше, це призводить до зниження локального і регіонального біорозмаїття. Зазвичай інвазійні види досить агресивні та конкурентоспроможні, тому їхньою флористичною світою стають в основному витривалі до тиску види. Більшість із них є рудеральними видами. Процес динаміки трансформованих екосистем зупиняється раніше, ніж у результаті прогресивної автогенної сукцесії буде досягнуто стану енергетичного клімаксу. Це по суті є станом катастрофічного клімаксу, спричиненого діяльністю видів-вселенців. Збільшення площ трансформованих інвазіями екосистем призводить до зменшення регіонального розмаїття. Наприклад, у результаті цього процесу в поєднанні зі збільшенням площ сільськогосподарських угідь у Степу, Лісостепу та на півдні Полісся практично зникли термофільні дубові ліси. У такому разі існують високі ризики зникнення представників раритетної біоти, зокрема й ендемічної. Унаслідок такого

процесу зникла одна з найбільших популяцій червонокнижної гронайки півмісяцевої в заказнику «Черевківський». По-друге, спостерігається негативний вплив на сусідні екосистеми, із якими пов'язана та які були трансформовані. Це відбувається через проблеми з насінневою діаспорою, відсутність механізмів адаптації через швидкі процеси еволюції екосистем. І, нарешті, третьою проблемою є серйозне зменшення обсягу екосистемних послуг

Клен ясенелистий (*Acer negundo* L.) має загальні й індивідуальні риси інвазійного виду – трансформера (Porté et al., 2011). Первинний ареал *Acer negundo* охоплював значну частину Північної Америки, від південних районів Канади до гірських систем Мексики, з ізольованими популяціями у Гватемалі. Його поширення обмежувалося східними та центральними регіонами континенту, від Нью-Джерсі та Нью-Йорка на північному сході до крайнього півдня Онтаріо на північному заході, центрального Техасу на південному заході та центральної Флориди на південному сході. Характерно, що вид був відсутній у західній частині Північної Америки, проте зростав уздовж Атлантичного узбережжя. Антропогенний фактор, а саме самосів з раніше висаджених дерев, спричинив значне розширення ареалу клена ясенелистого в Північній Америці. Нині він активно поширюється в західних штатах США та натуралізувався в західних і східних провінціях Канади. У межах свого природного поширення вид демонструє клинальну мінливість плодів, що привело до виділення низки географічних рас. Завдяки інтенсивному використанню в озелененні європейцями клен ясенелистий нині є звичайним дикорослим видом майже по всій Європі та в деяких азійських регіонах.

Клен ясенелистий потрапив до Європи в XVII ст. разом з багатьма іншими рослинами з Америки. Перша задокументована інтродукція відбулася в Англії в 1688 р., після чого вид був завезений до Голландії (1690 р.) та Німеччини (1699 р.). У Польщі його вперше зафіксували в 1808 р. В Україні інтродукція виявилася особливо успішною. Насіння клена було привезено В.Н. Каразіним зі США та Канади ще в 1809 р., висіяно ним в Основ'янському акліматизаційному саду. Вирощені дерева відзначалися швидким ростом і характерними пагонами. Їхне потомство поширювали в садах і парках України. Уже в 1816 р. клен ріс у Кременці, а з 1849 р. – в Одесі. У 1865 р. його гербарні

зразки були зібрані у Великоанадольському лісництві. На Закарпатті перша згадка про інтродукцію датується 1898 р., клен використовувався в паркових композиціях, а з 1912 р. його вирощували в експериментальних лісових культурах на Рахівщині.

У межах свого аборигенного ареалу *Acer negundo* є едифікатором заплавних і гідрофільних біотопів, а також входить до складу різноманітних формацій широколистяних лісів регіону Великих рівнин. Відзначається його центична значущість у співтовариствах із *Fraxinus pennsylvanica*, *Populus angustifolia*, *Populus sargentii*, *Populus tremuloides*, представниками роду *Salix* та *Quercus macrocarpa*. У гірських екосистемах штатів Аризона та Нью-Мексико *Acer negundo* виступає як доміант флористичних комплексів заплавних лісів.

Порушені екосистеми найбільш вразливі до інвазій видів-вселенців, через незаповненість еконіш і несталі зв'язки між видами (Kotsiuba et al., 2023). Ведення активних бойових дій на території України збільшує площі таких порушень, отже, і збільшує ризики масового поширення інвазійних видів – трансформерів. Свого часу було висунуто гіпотезу, що відкриті гірничі виробітки можуть слугувати моделями для процесів відновлення постмілітарної рослинності. Саме тому вивчення поширення інвазійних видів – трансформерів, зокрема *Acer negundo*, є актуальним прикладним і теоретичним завданням.

Метою роботи є дослідження поширення клена ясенелистого в рослинних угрупованнях Українського Полісся та його ролі в їхній трансформації на території відкритих гірничих виробітків.

Відповідно до мети було поставлено такі завдання:

– встановити фітоценотичне розмаїття рослинних угруповань, у флорі яких присутній *Acer negundo*;

– визначити синтаксони, сформовані завдяки трансформації аборигенних екосистем інвазією *Acer negundo*;

– проаналізувати фітоценотичне розмаїття угруповань за участю *Acer negundo*.

Матеріал і методи

Емпіричною базою дослідження послужили 3 118 стандартних геоботанічних описів, отриманих у межах Українського Полісся в період із 2004 по 2024 р. Збір первинних даних здійснювався за допомогою маршрутно-експедиційних польових методів, що відповідають еколого-флористичним прин-

ципам швейцарсько-французької школи Браун-Бланке (Braun-Blanquet, 1964).

Описи проводилися на гомогенних ділянках, де фітоценози сформовані за участю *Acer negundo*. Гомогенність ділянок визначалася візуально за комплексом едафічних факторів, фізіономією рослинного покриву, мікрорельєфом і доміантами ярусів. Розміри ділянок співвідносилися з висотою доміантів вищого ярусу. Для лучної рослинності вони дорівнювали 2 на 2 м, для чагарникової та молодих лісів 10 на 10 м, стиглих лісів – 25 на 25 м. Рослинність розташована у формі стрічки, опис робився відповідно до природних меж у поперечнику та в довжину у 2 м для трав'яної рослинності, 5 м для чагарникової та 10 м для лісової (Якубенко та ін., 2020).

Для геопросторової прив'язки та характеристики едафічних умов використовувалися карти місцевості та ґрунтів, а також GPS-навігація та мобільний застосунок “GPS Test”. Опис мікрорельєфу включав визначення експозиції схилу за допомогою мобільного застосунку “Clinometr”. Проективне покриття видів оцінювалося за семибальною шкалою Браун-Бланке, а первинні дані систематизувалися у програмному середовищі “Turboveg 2.0” (Hennekens, 2009).

Класифікація автотрофних блоків екосистем здійснена з використанням пакету програм “JUICE 7.0”. Диференціація рослинних угруповань на синтаксони здійснювалася за допомогою «Продромусу рослинності України» (Дубина, 2019). Назви видів вищих судинних рослин подаються з урахуванням рекомендацій “Vascular plants of Ukraine. A nomenclatural checklist” (Mosyakin & Fedoronchuk, 1999)

Результати

Проаналізований масив із 3 118 описів було класифіковано за системою Браун-Бланке. Повне фітоценотичне розмаїття досліджуваної території для угруповань вищих судинних рослин становить 33 класи, 52 порядки, 98 союзів, 332 асоціації та 5 безрангових угруповань. Із них *Acer negundo* трапляється у 33 асоціаціях 15 класів рослинних угруповань (табл. 1). Це становить 9,9% від усіх асоціацій і 45,5% від усіх класів рослинності. Цей вид описаний у 119 описах, що становить 3,8% від їх загальної чисельності. Загальне число описів у 33 асоціаціях, у флорі яких трапляється *Acer negundo*, становить 787 одиниць. Отже, частка уражених інвазією описів для цих асоціацій становить 15%.

Таблиця 1

Частка описів за участю *Acer negundo* в угрупованнях вищих судинних рослин
Українського Полісся

Клас	Асоціація	Частка описів за участю <i>Acer negundo</i>
<i>Alnetea glutinosae</i>	<i>Ribeso nigri-Alnetum</i>	18,03
<i>Artemisietea vulgaris</i>	<i>Agropyretum repentis</i>	6,82
	<i>Arctio-Artemisietum vulgaris</i>	3,45
	<i>Berteroëtum incanae</i>	6,67
	<i>Hyoscyamo nigri-Conietum maculati</i>	66,67*
	<i>Echio-Verbascetum</i>	16,67
<i>Carpino-Fagetea sylvaticae</i>	<i>Tilio cordatae – Carpinetum betui</i>	14,29
<i>Epilobietea angustifolii</i>	<i>Calamagrostietum epigeji</i>	1,89
	<i>Rubetum idaei</i>	10
<i>Franguletea</i>	<i>Salicetum pentandre-cinereae</i>	13,16
<i>Galio-Urticetea</i>	<i>Elytrigio repentis-Aegopodietum podagrariae</i>	20
<i>Lonicero-Rubetea plicati</i>	<i>Frangulo-Rubetum plicati</i>	2,9
<i>Molinio-Arrhenatheretea</i>	<i>Poëtum pratensis</i>	11,11
	<i>Anthoxantho odorati-Agrostietum tenuis</i>	8,7
<i>Phragmiti-Magnocaricetea</i>	<i>Carici elatae-Calamagrostietum canescentis</i>	33,33*
<i>Quercetea robori-petraeae</i>	<i>Holco lanati-Quercetum roboris</i>	50*
<i>Rhamno-Prunetea</i>	<i>Rhamno-Cornetum sanguinei</i>	25*
	<i>Euonymo europaei-Cornetum sanguineae</i>	100*
<i>Robinietea</i>	<i>Salicetum capreae</i>	12,96
	<i>Cheledonio-Robinetum</i>	33,33
	<i>Cheledonio-Aceratum negundi</i>	100
	<i>Cheledonio-Pinetum sylvestris</i>	33,33
	<i>Sambuco nigrae-Robinetum</i>	33,33
	<i>Impatienti parviflorae-Robinetum pseudoacaciae</i>	100
	<i>Geo-Aceretum platanoidis</i>	66,67*
<i>Salicetea purpurea</i>	<i>Salicetum albae</i>	20,83
	<i>Populetum nigro-albae</i>	33,33*
	<i>Salici-Populetum</i>	100*
	<i>Aristolochio-Salicetum albae</i>	100*
	<i>Myosotido palustris-Salicetum albae</i>	100*
<i>Sedo-Scleranthetea</i>	<i>Thymo pulegioides-Sedetum sexangulare</i>	2,63
<i>Vaccinio-Piceetea</i>	<i>Dicranio-Pinetum</i>	3,03
	<i>Molinia-Pinetum</i>	3,03

Примітка. * – синтаксони з нерепрезентативною кількістю описів.

Розподіл присутності *Acer negundo* на рівні класу вказує на типи рослинності, які є або найбільш вразливими для цього або найшвидше трансформуються ним. Найчастіше клен ясенелистий входить до складу флори лісової рослинності тому, що

40% уражених ним класів належать до цієї групи. Це такі класи, як *Alnetea glutinosae*, *Carpino-Fagetea sylvaticae*, *Quercetea robori-petraeae*, *Robinietea*, *Salicetea purpurea* та *Vaccinio-Piceetea*. Аналіз фітоценотичного розмаїття вказує на те, що найбільше асо-

ціації формуються за його участю у класі *Robinietaea* (7 шт.) та *Salicetea purpurea* (5 шт.). Решта класів лісової рослинності, за винятком *Vaccinio-Piceetea* (2 шт.), мають лише по одній такій асоціації.

У межах кожної асоціації частка описів із присутністю клена ясенелистого різна. Під час аналізу із цього переліку варто одразу вилучити асоціації з нерепрезентативною кількістю описів. Це такі асоціації рослинних угруповань: *Hyoscyamo nigri-Conietum maculati* (клас *Artemisietea vulgaris*), *Carici elatae-Calamagrostietum canescentis* (клас *Phragmiti-Magnocaricetea*), *Holco lanati-Quercetum robori* (клас *Quercetea robori-petraeae*), *Rhamno-Cornetum sanguine* (клас *Rhamno-Prunetea*), *Euonymo europaei-Cornetum sanguineae* (клас *Rhamno-Prunetea*), *Geo-Aceretum platanoidis* (клас *Robinietaea*), *Populetum nigro-albae* (клас *Salicetea purpurea*), *Salici-Populetum* (клас *Salicetea purpurea*), *Aristolochio-Salicetum albae* (клас *Salicetea purpurea*), *Myosotido palustris-Salicetum albae* (клас *Salicetea purpurea*). Ми не можемо за наявними даними польових досліджень стверджувати, що ці асоціації насправді настільки уражені інвазією чи це випадкове явище пов'язане з малою вибіркою. Винятком можна вважати лише рослинність класу *Salicetea purpurea*, яка на території відкритих гірничих виробітків у більш як половині випадків містить у своїй флорі *Acer negundo*.

Для асоціацій із надійною кількістю описів найвища його присутність у *Cheledonio-Aceratum negundi* та *Impatienti parviflorae-Robinietaea pseudoacaciae* (клас *Robinietaea*). Тут він трапляється в кожному із 33 описаних випадків. Ми можемо розділити весь масив асоціацій на 7 класів (табл. 2). У першому він трапляється у 100% описів, у другому – у 80–100%, у третьому – у 60–80%, у четвертому – у 40–60%, у п'ятому – у 20–40%, у шостому – у 0–20%, у сьомому не трапляється. Отже, ми маємо 2 асоціації, віднесені до першого класу, 5 – до другого, 15 – до шостого, 299 – до сьомого. Відсутність даних про II–IV класи можна пояснити тим, що для тринадцяти асоціацій ми не можемо вважати дані достовірними через малу вибірку описів.

Цілковита трансформація екосистеми інвазією клена ясенелистого приводить до утворення асоціації *Chelidonio-Aceretum negundi*. Її синтаксономічне положення має такий вигляд: *Robinietaea* Jurko ex Hadac et Sofron 1980: *Chelidonio-Robinietaea*

pseudoacaciae Jurko ex Hadac et Sofron 1980: *Chelidonio-Acerion negundi* Ishbirdina et A. Ishbirdin 1991: *Chelidonio-Aceretum negundi* Ishbirdina et A. Ishbirdin 1991.

Таблиця 2
Належність асоціацій рослинних угруповань, сформованих за участю *Acer negundo*, до класів його присутності

Асоціації рослинних угруповань	Класи присутності <i>Acer negundo</i> в описах асоціацій рослинності
<i>Cheledonio-Aceratum negundi</i>	I
<i>Impatienti parviflorae-Robinietaea pseudoacaciae</i>	I
<i>Cheledonio-Robinetum</i>	V
<i>Cheledonio-Pinetum sylvestris</i>	V
<i>Sambuco nigrae-Robinetum</i>	V
<i>Salicetum albae</i>	V
<i>Elytrigio repentis-Aegopodietum podagrariae</i>	V
<i>Ribeso nigri-Alnetum</i>	VI
<i>Echio-Verbascetum</i>	VI
<i>Tilio cordatae – Carpinetum betui</i>	VI
<i>Salicetum pentandre-cinereae</i>	VI
<i>Salicetum capreae</i>	VI
<i>Poëtum pratensis</i>	VI
<i>Rubetum idaei</i>	VI
<i>Anthoxantho odorati-Agrostietum tenuis</i>	VI
<i>Agropyretum repentis</i>	VI
<i>Berteroëtum incanae</i>	VI
<i>Arctio-Artemisietum vulgaris</i>	VI
<i>Dicranio-Pinetum</i>	VI
<i>Molinia-Pinetum</i>	VI
<i>Frangulo-Rubetum plicati</i>	VI
<i>Thymo pulegioides-Sedetum sexangulare</i>	VI
<i>Calamagrostietum epigeji</i>	VI

На території гірничих об'єктів *Acer negundo* досить поширений. Особливо це помітно в місцях, де ведеться видобуток корисних копалин відкритим способом. Оскільки відбувається переміщення гірських порід і зворотних вод, то на багатьох

ділянках кар'єрів утворюються сприятливі едафічні умови. Цьому також сприяє порушення рослинного покриву, яке веде до руйнування еконіш і придушення менш антропоотолерантних конкурентів.

Acer negundo починає проникати в порушені екосистеми гірничих об'єктів на ранніх етапах відновлення природної рослинності. Поодинокі ювенільні особини виду трапляються в асоціаціях *Agropyretum repentis*, *Arctio-Artemisietum vulgaris*, *Berteroëtum incanae* *Hyoscyamo nigri-Conietum maculati* та *Echio-Verbascetum* (клас *Artemisietea vulgaris*). Коли прогресивна автогенна сукцесія на ділянках кар'єрів, де знижено антропогенний тиск (відвали, канали водовідведення, узбіччя технологічних доріг тощо), доходить до стадії молодих похідних лісів, то відбувається його активна інвазія в угруповання типових для цього класів *Robinietaea* та *Salicetea purpurea*. Якщо насіннева діаспора досить активна, а едафічні умови сприятливі, це приводить до формування асоціації *Chelidonio-Aceretum negundi*. Представництво клена ясенелистого в ній дуже потужне. Він має велике число генеративних особин із проєктивним покриттям, що перевищує 75%. Це сприяє його інвазії в сусідні екосистеми, особливо ті, які ще не мають сформованої упаковки еконіш і видів, які за своїм бонітетом можуть із ним конкурувати.

Обговорення

Присутність клену ясенелистого у 6 класах угруповань лісової та 4 чагарникової рослинності вказує на його високу конкурентоспроможність порівняно з аборигенними фанерофітами. Водночас, маючи екологічну схильність до помірно зволжених прибережних екоотопів, він не був відмічений у класичних мезотрофних, оліготрофних і літоральних болотах класів *Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae*, *Oxycocco-Sphagneteta*, *Littorelletea uniflorae*, *Isoëto-Nanojuncetea* (Хом'як і Коніщук, 2024).

Під час поширення територією Європи *Acer negundo* займає ареал, аналогічний із *Salix fragilis* L. Існує гіпотеза, що верба ламка теж свого часу була інвазійним видом на території Європи і зараз є таким для інших частин світу. Однак за цей час вона натуралізувалася і стабілізувала свої зв'язки з аборигенними видами та сусідніми екосистемами. Щодо *Acer negundo*, то цього поки що сказати не можна. Хоч екосистеми, сформовані ним, охоплюють великі площі та широко розповсюджені, він дотепер веде

себе агресивно, трансформує аборигенні екосистеми та витісняє аборигенну флору. Зокрема аборигенні види роду *Salix* (Erdélyi et al., 2023).

Території гірничих виробітків можуть бути вогнищами поширення *Acer negundo*. Порушення упаковки еконіш разом з антропогенним тиском і великими ділянками, які не експлуатуються, створюють сприятливі умови для проникнення інвазійних видів – трансформерів, зокрема й клена ясенелистого (Хом'як, 2022). Оскільки цей вид не входить до карантинного списку, то закон прямо не передбачає зобов'язань перед власниками або користувачами земельної ділянки щодо боротьби з ним. Окрім того, коли ці рослини набудуть визначених розмірів, то закон обмежує і ускладнює боротьбу з ними, оскільки такі насадження потрапляють під дію Закону України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо збереження лісів» від 20 червня 2022 р. № 2321-ІХ. Єдине, що є можливим у межах чинного законодавства, це вилучення молодих ювенільних особин. Також дозвільна організація (обласні департаменти екології або Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України) може зробити припис, згідно з яким у звіти проведення післяпроектного моніторингу мають бути включені спостереження за зміною популяційних характеристик інвазійних видів.

Така ситуація потребує від законодавчих органів негайного втручання та внесення поправок або ухвалення окремого закону про контроль інвазійних видів – трансформерів. Це є особливо актуальним на фоні ведення повномасштабних бойових дій в Україні. Оскільки моделлю самовідновлення рослинності після ураження боєприпасами, фортифікаційними роботами та переміщенням військової техніки є аналогічні процеси на відкритих гірничих виробітках, то поширення інвазійних видів – трансформерів може активізуватися (Khomiak et al., 2023).

Висновки

Acer negundo трапляється у 33 асоціаціях 15 класів рослинних угруповань. Це становить 9,9% від усіх асоціацій та 45,5% від усіх класів рослинності. Вид описаний у 119 описах, що становить 3,8% від їх загальної чисельності.

Загальне число описів у 33 асоціаціях, у флорі яких трапляється *Acer negundo*, становить 787 одиниць. Отже, частка уражених інвазією описів для цих асоціацій становить 15%.

Acer negundo проникає в порушені екосистеми гірничих об'єктів на ранніх етапах самовідновлення природної рослинності. Поодинокі ювенільні особини виду трапляються в асоціаціях *Agropyretum repentis*, *Arctio-Artemisietum vulgaris*, *Berteroëtum incanae* *Hyoscyamo nigri-Conietum maculati* та *Echio-Verbascetum* класу *Artemisietea vulgaris*.

Цілковита трансформація екосистеми інвазією *Acer negundo* призводить до утворення асоціації *Chelidonio-Aceretum negundi*,

яка належить до класу *Robinietaea* порядку *Chelidonio-Robinietaea pseudoacaciae* союзу *Chelidonio-Acerion negundi*.

Ситуація з відсутністю контролю за інвазійними видами – трансформерами, що не внесені в карантинні списки, потребує негайного вирішення на законодавчому рівні. Особливо актуальні та необхідні зміни в законодавстві на фоні повномасштабних бойових дій, які сприяють активізації поширення інвазійних видів.

Список використаної літератури

- Геоботаніка: методичні аспекти досліджень / Б.Є. Якубенко та ін. Дніпро : Ліра, 2020, 316 с.
Дубина Д.В. Продромус рослинності України. Київ : Наукова думка, 2019. 784 с.
Хом'як І.В., Конішук В.В. Прибережно-водна та болотна рослинність гірничих об'єктів Центрального Полісся. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 10. С. 276–283. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.10.2024.26>.
Хом'як І.В. Антропогенна трансформація похідних лісів класу *Robinietaea* на території Українського Полісся. *Український журнал природничих наук*. 2025. № 11. С. 314–324. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.33>.
Хом'як І.В. Синтаксономія відновлюваної рослинності кар'єрів Центрального Полісся. *Український ботанічний журнал*. 2022. № 79 (3). С. 142–153. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj79.03.142>.
Braun-Blanquet J. Grundzüge der Vegetationskund. *Pflanzensoziologie* / J. BraunBlanquet (Ed.). Berlin : Verlag von Julius Springer, 1964. 865 s.
Erdélyi A., Hartdégén J., Malatinszky Á., Vadász C. Historical reconstruction of the invasions of four non-native tree species at local scale: a detective work on *Ailanthus altissima*, *Celtis occidentalis*, *Prunus serotina* and *Acer negundo*. *One Ecosystem*. 2023. № 8. P. e108683. <https://doi.org/10.3897/oneeco.8.e108683>.
Fanal A., Mahy G., Monty A. Can we foresee future maple invasions? A comparative study of performance-related traits and invasiveness of eight *Acer* species. *Plant Ecology*. 2022. № 223 (10). <https://doi.org/1181-1192.10.1007/s11258-022-01266-1>.
Ferus P. Mechanisms involved in alien maples (*Acer* sp.) invasion process in the Central Europe. Testing hypotheses associated with species fitness. *Urban Ecosystems*. 2023. № 26 (5). P. 1455–1467. <https://doi.org/10.1007/s11252-023-01390-4>.
Gallardo B., Bacher S., Barbosa A.M., Gallien L., González-Moreno P., Martínez-Bolea V., Vilà M. Risks posed by invasive species to the provision of ecosystem services in Europe. *Nature Communications*. 2024. № 15 (1). P. 2631. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-46818-3>.
Hennekens S.M. TURBOVEG for Windows. Version 2 / Ed. S.M. Hennekens. Wageningen : Inst. voor Bos en Natur, 2009. 96 p.
Khomiak I.V., Bren A.L., Medvid O.V., Khomiak A.K., Maksymenko I.Yu. Dynamics of terrestrial vegetation on the territory of quarries as a model of post-military restoration of wild nature. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*. 2023. Vol. 5. P. 61–69. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.5.2023.7>.
Kotsiuba I.Y., Khomiak I.V., Bren A., Shamonina M. (2023). Ecological strategies of plants in the process of restoration of disrupted natural ecosystems of Ukrainian Polissia. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*. Vol. 3. P. 186–198. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.3.2023.186-198>.
Mosyakin S.L., Fedoronchuk M.M. Vascular Plants of Ukraine: a Nomenclatural checklist. Kiev, 1999. 345 p.
Porté A.J., Lamarque L.J., Lortie C.J., Michalet R., Delzon S. Invasive *Acer negundo* outperforms native species in non-limiting resource environments due to its higher phenotypic plasticity. *BMC ecology*. 2011. № 11. P. 1–13.

References

- Dubyna, D.V. (2019). Prodrumus roslynnosti Ukrainy [Prodrumus vegetation of Ukraine]. Kyiv : Naukova dumka [in Ukrainian].

Khomiak, I.V., & Konishhuk, V.V. (2024). Pryberezhno-vodna ta bolotna roslynnistj ghirnychykh ob'ektiv Centraljnogho Polissja [Coastal aquatic and marsh vegetation of mining sites in Central Polissya]. *Ukrajinsjkyj zhurnal pryrodnychykh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 10, 276–283. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.10.2024.26> [in Ukrainian].

Khomiak, I.V. (2025). Antropoghenna transformacija pokhidnykh lisiv klasu Robinietea na terytoriji Ukrajinsjkogho Polissja [Anthropogenic transformation of derived forests of the Robinietea class in the territory of Ukrainian Polissya]. *Ukrajinsjkyj zhurnal pryrodnychykh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 11, 314–324. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.33> [in Ukrainian].

Khomiak, I.V. (2022). Syntaksonomiia vidnovliuvanoi roslynnosti karieriv Tsentralnoho Polissia [Syntaxonomy of the regenerating vegetation of the quarries of the Central Polissia]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal [Ukrainian Botanical Journal]*, 79 (3), 142–153. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj79.03.142> [in Ukrainian].

Yakubenko, B.Ie., Popovych, S.Iu., Ustymenko, P.M., Dubyna, D.V., & Churilov, A.M. (2020). Heobotanika: metodychni aspekty doslidzhen [Geobotany: methodological aspects of research]. *Lira* [in Ukrainian].

Braun-Blanquet, J. (1964). *Grundzüge der Vegetationskund. In: Pflanzensoziologie*. Ed. J. Braun-Blanquet. Berlin: Verlag von Julius Springer [in English].

Erdélyi, A., Hartdégén, J., Malatinszky, Á., & Vadász, C. (2023). Historical reconstruction of the invasions of four non-native tree species at local scale: a detective work on *Ailanthus altissima*, *Celtis occidentalis*, *Prunus serotina* and *Acer negundo*. *One Ecosystem*, 8, e108683. <https://doi.org/10.3897/oneeco.8.e108683> [in English].

Fanal, A., Mahy, G., & Monty, A. (2022). Can we foresee future maple invasions? A comparative study of performance-related traits and invasiveness of eight *Acer* species. *Plant Ecology*, 223 (10), <https://doi.org/1181-1192.10.1007/s11258-022-01266-1> [in English].

Ferus, P. (2023). Mechanisms involved in alien maples (*Acer* sp.) invasion process in the Central Europe. Testing hypotheses associated with species fitness. *Urban Ecosystems*, 26 (5), 1455–1467. <https://doi.org/10.1007/s11252-023-01390-4> [in English].

Gallardo, B., Bacher, S., Barbosa, A.M., Gallien, L., González-Moreno, P., Martínez-Bolea, V., & Vilà, M. (2024). Risks posed by invasive species to the provision of ecosystem services in Europe. *Nature Communications*, 15 (1), 2631. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-46818-3> [in English].

Hennekens, S.M. (2009). TURBOVEG for Windows. Version 2. Ed. S.M. Hennekens. Wageningen: Inst. voor Bos en Natur.

Khomiak, I.V., Bren, A.L., Medvid, O.V., Khomiak, A.K., & Maksymenko, I.Yu. (2023). Dynamics of terrestrial vegetation on the territory of quarries as a model of post-military restoration of wild nature. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*, 5, 61–69. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.5.2023.7> [in English].

Kotsiuba, I.Y., Khomiak, I.V., Bren, A., & Shamonina, M. (2023). Ecological strategies of plants in the process of restoration of disrupted natural ecosystems of Ukrainian Polissia. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*, 3, 186–198. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.3.2023.186-198> [in English].

Mosyakin, S.L., Fedoronchuk M.M., & Vascular (1999). *Plants of Ukraine: a Nomenclatural checklist*. Kyiv [in English].

Porté, A.J., Lamarque, L.J., Lortie, C.J., Michalet, R., & Delzon, S. (2011). Invasive *Acer negundo* outperforms native species in non-limiting resource environments due to its higher phenotypic plasticity. *BMC ecology*, 11, 1–13 [in English].

Отримано: 14.07.2025

Прийнято: 22.08.2025

Опубліковано: 17.10.2025



ЗМІСТ

БІОЛОГІЯ

- A. V. Denysenko, V. P. Bessonova, S. O. Yakovlieva-Nosar.** Assessment of vegetation in the ravines of Khortytsia Island (Zaporizhzhya) using Landsat satellite data.....7
- В. М. Вірченко.** До бріофлори Національного природного парку «Залісся».....28
- О. К. Галаган, І. М. Михалюк, Н. І. Цицюра, О. Б. Бондар, І. М. Галаган.** Експансивні адвентивні види урбанофлори міста Кременця та його околиць і картосхеми їх поширення.....36
- Л. П. Горальський, О. В. Овдіюк, Б. В. Гутий.** Морфологія серця кларієвого сома (*Clarias gariepinus*).....51
- Л. А. Джус, І. П. Діденко, Т. Д. Ковальчук, М. І. Парубок, М. Р. Фабрика.** Популяційний моніторинг ендемічних видів рослин родини Caryophyllaceae Juss.....66
- В. О. Козак, І. В. Чернік, С. В. Пида, М. А. Крижановська.** Фотосинтетичні пігменти листків сочевиці харчової (*Lens culinaris medik.*) за впливу мікробних препаратів і протруйника Максим77
- О. В. Кратко, А. М. Головатюк, С. В. Кратко.** Адаптаційні механізми лісової мурахи *Formica rufa* до абіотичних стресів і їх значення для здоров'я людини та сталого розвитку людського середовища.....87
- Р. Є. Любчиков, Д. А. Філоненко.** Зміни вмісту нуклеїнових кислот у тканинах карася звичайного (*Carassius carassius* l.) як потенційний маркер біоіндикації токсичної дії водного середовища.....96
- Р. Я. Мелимука, А. В. Долюк.** Вплив барди мелясної на продуктивність агроценозу картоплі та біологічний стан дерново-підзолистого ґрунту.....106
- В. М. Песков, І. О. Синявська, І. Б. Доценко, Р. К. Романюк.** Алометричний ріст і формування статевого диморфізму в онтогенезі скельної ящірки *Darevskia lindholmi* (Szczerbak, 1962).....115

ГЕОГРАФІЯ

- Т. П. Безсмертнюк.** Перспективи рекреаційно-туристичного використання пам'яток природи Дубенського району Рівненської області.....126
- І. В. Захарчук.** Географічні особливості поширення антропонімів західних регіонів України.....136
- В. В. Ігнатишин, Т. Й. Іжак, С. С. Молнар Д, М. Б. Ігнатишин, А. В. Ігнатишин.** Гідрологічні аспекти геодинамічного та сейсмічного стану Карпатського регіону.....145
- Н. І. Колосівський.** Мережа закладів культури Чернівецької області: суспільно-географічний аналіз.....160
- І. І. Костащук, С. В. Миронюк.** Наукові підходи визначення поняття інтелектуального потенціалу як суспільно-географічної категорії.....170
- Л. В. Недострелова, Д. В. Подолук.** Сучасна структура полів статистичних характеристик розподілу снігового покриву в Одеському регіоні180
- Т. С. Павловська, С. В. Стельмах, Б. С. Жданюк.** Структура природного року на метеостанції Луцьк і тенденції її змін упродовж 2001–2024 років.....188
- С. В. Стельмах, Т. С. Павловська, Б. С. Жданюк.** Хмарність на метеостанції Луцьк і тенденції її змін упродовж 2001–2020 років.....199

ХІМІЯ

- О. М. Камінський, Р. О. Денисюк, С. В. Кучерук, С. В. Авдеєв, О. С. Євдоченко.** Процеси адсорбції конго червоного з водних розчинів поверхнею купрум-ітрієвого гранату.....212
- С. В. Кучерук, О. М. Камінський, Р. О. Денисюк, О. В. Анічкіна, О. Ю. Авдеєва.** Адсорбція індигокарміну з розчину нанорозмірним титан діоксидом.....221
- К. В. Снігур, О. М. Жуковецька, О. М. Гузенко, Д. В. Снігур.** Комплексоутворення солей 6,7-дигідрокси-4-карбоксил-2-фенілбензопірилію з Мо (VI) та W (VI) у водних та організованих розчинах232

АГРОНОМІЯ

П. А. Басюк, М. Б. Грабовський. Вплив мікродобрив та регуляторів росту на якісні показники зеленої маси кукурудзи.....	241
А. Ю. Дрозденко, А. О. Бутенко. Строки садіння картоплі та сталість сільського господарства: екологічні та ресурсні аспекти (оглядова).....	254
Н. М. Зеленянська, Т. А. Кунділовська, В. Г. Мавров. Застосування біологічно активних препаратів на етапі виробництва щеп винограду.....	261
М. О. Іванів, О. В. Сидякіна, Є. А. Гамула. Вплив умов зволоження, біологічних особливостей гібридів і густоти стояння рослин на вміст сирого протеїну в зерні кукурудзи.....	273
О. В. Матрос, О. М. Матрос. Формування ентомокомплексу капусти білоголової у Правобережному Лісостепі України: огляд теоретичних підходів та сучасних тенденцій.....	282
В. Ю. Пелих. Біологічні методи захисту огірків (<i>Cucumis sativus</i> L.) від хвороб у закритому ґрунті: сучасний стан і перспективи.....	291
М. М. Селінний, Л. А. Шевченко, Г. І. Рябуха, М. М. Пархоменко. Вплив інокуляції насіння пшениці агрономічно корисними бактеріями на біометричні та фізіологічні показники рослин.....	302
А. А. Сітник, У. М. Карбівська. Особливості формування продуктивності проса прутіподібного в умовах зміни клімату Західного регіону України.....	310
С. В. Філоненко, В. М. Лисак. Особливості формування продуктивності буряків цукрових за оптимізації їх мікроелементного живлення.....	318
Я. Г. Цицюра. Потенціал і ефективність біофумігації ґрунту із застосуванням редьки олійної в системі літньої проміжної сидерації.....	327

ЕКОЛОГІЯ

V. M. Filatov, D. M. Rudenko, O. M. Krainiukov. Soil degradation in the context of armed conflict: a conceptual framework.....	340
К. В. Белоконь, І. М. Пірогова, М. С. Мальований, Б. М. Комариста. Вдосконалення систем прогнозування та регулювання забруднення атмосферного повітря міста Запоріжжя за несприятливих метеорологічних умов.....	349
О. М. Василенко, О. В. Родіонова. Хімічний та мікробіологічний аналіз води річки Мала Путятинка: оцінка екологічної безпеки.....	361
О. М. Крайнюков, М. М. Щокіна. Аналіз досвіду застосування біологічних систем для раннього запобігання забрудненню вод.....	370
І. П. Онищук, О. Ю. Кичкирук, А. М. Гаврилова. Визначення вмісту іонів важких металів у ґрунтах, трансформованих у результаті вибухів.....	381
С. О. Панкова, А. О. Бондар, М. В. Матусяк, А. М. Піддубна. Методологічні та методичні засади моніторингу лісів України.....	394
М. Р. Питуляк, М. В. Питуляк, С. І. Гунько. Геопросторові особливості екологічного стану ґрунтово-земельних ресурсів Хмельницької області.....	402
А. М. Піддубна, М. В. Матусяк, О. І. Циганська, С. О. Панкова. Вплив технології зимового закриття лунок на агрохімічний стан ґрунту під деревними насадженнями в умовах міста Вінниці.....	413
І. В. Хом'як. Інвазії <i>Acer negundo</i> L. у порушені екосистеми гірничих об'єктів на території Українського Полісся.....	421

НОТАТКИ