

Міністерство освіти і науки України
Житомирський державний університет імені Івана Франка

Український журнал природничих наук

№ 11

Науковий журнал,
заснований у 2022 році



Видавничий дім
«Гельветика»
2025

*Видається за рішенням вченої ради Житомирського державного університету імені Івана Франка
(протокол № 5 від 28.03.2025 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 Караденізського технічного університету (Трабзон, Турецька Республіка)

Балашова Галина – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу біотехнології, овочевих культур та картоплі, Інститут зрошуваного землеробства НААН України (Херсон, Україна)

Біляєва Ірина – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу маркетингу, трансферу інновацій та економічних досліджень Інституту зрошуваного землеробства НААН України (Херсон, Україна)

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 Тадеуш – 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)

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)

Маларчук Микола – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник відділу зрошуваного землеробства Інституту зрошуваного землеробства НААН України (Херсон, 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 Вірмонтас – 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. № 11. 398 с.

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

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

Сайт видання: naturaljournal.zu.edu.ua/index.php/ujns
Макетування: Гайдабрус В. Б.

В усіх статтях збережено орфографію та пунктуацію авторів.

Підписано до друку 31.03.2025 р. Формат 60х90/8. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 46,27. Тираж 300. Замовлення 0325/213

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

№ 11

Scientific journal,
founded in 2022



Publishing House
"Helvetica"
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)

Balashova Halyna – Doctor of Sciences (Agricultural), Senior Researcher, Head of Biotechnology, Vegetables and Potatoes Department of Institute of Irrigated Agriculture NAAS of Ukraine (Kherson, Ukraine)

Biliaieva Iryna – Doctor of Sciences (Agricultural), Senior Researcher, Head of the Department of Marketing, Innovation Transfer and Economic Research of Institute of Irrigated Agriculture NAAS of Ukraine (Kherson, Ukraine)

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)

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 Motomyi 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)

Maliarchuk Mykola – Doctor of Sciences (Agricultural), Senior Researcher of Institute of Irrigated Agriculture NAAS of Ukraine (Kherson, 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)

Sydoorenko 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 Lashkariyov 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)

Chekhniy 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. № 11. 398 p.

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

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

Website: naturaljournal.zu.edu.ua/index.php/ujns
Modelling: Gaidabrus V. B.

Authors' spelling and punctuation are preserved in the articles.

Signed for printing 31.03.2025. Size 60x90/8. Offset Paper. Font Times New Roman
Risograph printing. Conventional printed sheets 46,27. Number of copies 300. Order 0325/213

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



БІОЛОГІЧНІ НАУКИ

УДК 581.95

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.1>

ПОШИРЕННЯ РЕГІОНАЛЬНО РІДКІСНИХ ВИДІВ РОСЛИН НА ТЕРИТОРІЇ БАСЕЙНУ РІЧКИ СИРОВАТКА (СУМСЬКА ОБЛАСТЬ)

А. П. Вакал¹, Ю. І. Литвиненко²

У цій статті наведено дані про сучасний стан популяцій видів вищих судинних рослин, які занесені до переліку регіонально рідкісних на території Сумської області і які зустрічаються в межах басейну р. Сироватка. Дослідження, які проводилися протягом 2016–2022 років, засвідчили, що природні екосистеми цієї території зазнали значного антропогенного впливу, унаслідок чого відбулося збіднення їх видового та популяційного різноманіття. Особливої актуальності результати досліджень набули після початку повномасштабного російського вторгнення, оскільки майже вся територія досліджень розташована в зоні військових дій. За результатами досліджень, проведених на території басейну р. Сироватка, було виявлено популяції 28 видів вищих судинних рослин, занесених до офіційного переліку рідкісних видів рослин Сумської області: *Allium flavescens* Bess., *Allium sphaerocephalon* L., *Anemone sylvestris* L., *Aster amellus* L., *Calla palustris* L., *Campanula cervicaria* L., *Carex limosa* L., *Cerasus fruticosa* (Pall.) Woronov, *Centaurea sumensis* Kalen., *Clematis integrifolia* L., *Clematis recta* L., *Corydalis marschalliana* (Pall. ex Willd.) Pers., *Crataegus ucrainica* Pojark., *Delphinium cuneatum* Steven ex DC., *Delphinium litwinowii* Sambuk, *Dentaria quinquefolia* M. Bieb., *Drosera rotundifolia* L., *Galatella villosa* (L.) Rchb.f., *Inula helenium* L., *Jurinea arachnoidea* Bunge, *Linum flavum* L., *Linum perenne* L., *Lycopodium clavatum* L., *Pedicularis kaufmannii* Pinzg., *Polemonium caeruleum* L., *Pyrethrum corymbosum* (L.) Scop., *Scorzonera purpurea* L., *Veratrum nigrum* L. Проведений аналіз показав, що один вид занесений до Європейського червоного списку рослин, що опинилися під загрозою зникнення у світовому масштабі, тільки 9 видів рослин ростуть на території об'єктів природно-заповідного фонду, а 14 видів – представлені лише однією популяцією. З метою збереження регіонально рідкісних видів судинних рослин, які виявлені в межах басейну р. Сироватка потрібно провести роботи з розширення території наявних і створення нових об'єктів природно-заповідного фонду.

Ключові слова: рідкісні види, охорона біорізноманіття, асоціація, Лівобережний Лісостеп, Україна.

¹ кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри біології та методики навчання біології
(Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка, м. Суми)
e-mail: lyntvarivka@gmail.com
ORCID: 0009-0009-9244-1375

² кандидат біологічних наук, доцент,
завідувач кафедри біології та методики навчання біології
(Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка, м. Суми)
e-mail: lytvynenko@sspu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-9095-0437

DISTRIBUTION OF REGIONALLY RARE PLANT SPECIES IN THE TERRITORY OF THE SYROVATKA RIVER BASIN (SUMY REGION)

A. P. Vakal, Yu. I. Lytvynenko

This article presents data on the current state of populations of higher vascular plant species that are listed as regionally rare in the Sumy region and that occur within the Syrovatka River basin. Research conducted during 2016–2022 showed that the natural ecosystems of this territory have been subjected to significant anthropogenic impact, resulting in the depletion of their species and population diversity. The research results became particularly relevant after the start of the full-scale Russian invasion, since almost the entire research area is in a war zone. As a result of research conducted in the Syrovatka River basin, populations of 28 species of higher vascular plants included in the official list of rare plant species of Sumy region were identified: *Allium flavescens* Bess., *Allium sphaerocephalon* L., *Anemone sylvestris* L., *Aster amellus* L., *Calla palustris* L., *Campanula cervicaria* L., *Carex limosa* L., *Cerasus fruticosa* (Pall.) Woronov, *Centaurea sumensis* Kalen., *Clematis integrifolia* L., *Clematis recta* L., *Corydalis marschalliana* (Pall. ex Willd.) Pers., *Crataegus ucrainica* Pojark., *Delphinium cuneatum* Steven ex DC., *Delphinium litwinowii* Sambuk, *Dentaria quinquefolia* M. Bieb., *Drosera rotundifolia* L., *Galatella villosa* (L.) Rchb.f., *Inula helenium* L., *Jurinea arachnoidea* Bunge, *Linum flavum* L., *Linum perenne* L., *Lycopodium clavatum* L., *Pedicularis kaufmannii* Pinzg., *Polemonium caeruleum* L., *Pyrethrum corymbosum* (L.) Scop., *Scorzonera purpurea* L., *Veratrum nigrum* L. The analysis showed that one species is listed on the European Red List of plants that are threatened with extinction on a global scale, only 9 plant species grow on the territory of the nature reserve fund, and 14 species are represented by only one population. In order to preserve regionally rare species of vascular plants found within the Syrovatka River basin, it is necessary to expand the territory of existing and create new objects of the nature reserve fund.

Key words: rare species, biodiversity protection, association, Left-bank Forest-Steppe, Ukraine.

Вступ

Основною причиною, яка в наш час призводить до збіднення біологічного різноманіття, є господарська діяльність людини, що проявляється в забрудненні навколишнього середовища шкідливими речовинами, глобальних змінах клімату, деградації ґрунтового покриву, збідненні видового складу біогеоценозів, знищенні природних оселищ рослин і тварин, проникненні інвазійних видів у природні екосистеми (Bondarieva et al., 2019; Kovalenko et al., 2022). Особливо негативно ці процеси впливають на рідкісні види судинних рослин, які перебувають на межі зникнення (Chusova et al., 2022).

Інтенсивний антропогенний вплив, який може мати як прямий, так і опосередкований характер, завдає пошкоджень як цілим екосистемам, так і окремим їх компонентам (Хом'як та ін., 2020). Це може призвести до знищення оселищ рідкісних видів, у тому числі вищих судинних рослин, що, зі свого боку, сприяє зниженню біологічного різноманіття як окремих екосистем, так і біосфери загалом (Rahman, 2018; Kaur, 2018; Устименко та ін., 2019).

Моніторинг популяцій, особливо раритетних рослин, дає змогу відстежувати процеси, які відбуваються на рівні видів рос-

лин, у рослинних угрупованнях і в біосфері загалом (Lohvynenko et al., 2019).

Починаючи з 60-х років XX сторіччя під значним антропогенним впливом перебуває територія басейну річки Сироватка, на якій досліджувався сучасний стан популяцій видів вищих судинних рослин, занесених до переліку регіонально рідкісних у Сумській області. Це дослідження є актуальним у зв'язку з тим, що на цій території унаслідок знищення оселищ рідкісних видів рослин, вони або взагалі зникли на значних територіях, або їх популяції перебувають у депресивному стані, особливо тих видів, які біотопічно були прив'язані до степів, лук і боліт (Скляр та ін., 2021; Tymochko et al., 2022).

Особливої актуальності ці дослідження набули в наш час, оскільки територія басейну р. Сироватка розташована біля україно-російського кордону і після початку російського вторгнення екосистеми цього регіону не тільки зазнають значного антропогенного впливу, а й страждають від мінування території, будівництва оборонних об'єктів, артилерійських обстрілів, а останнім часом і від ведення бойових дій. Усе це може призвести до часткового або повного руйнування місць зростання раритетних видів рослин.

В останні роки значна увага приділяється питанням проведення інвентаризації видового складу рослин як окремих регіонів України, так і всієї її території. Багато уваги приділяється інвентаризації окремих видів рослин, локалізації їх популяцій, особливо тих, які потребують охорони (Lohvynenko et al., 2019; Буджак і Дідух, 2020; Кременецька та ін., 2021).

З метою збереження біологічного різноманіття конкретних територій потрібно проводити дослідження, спрямовані на вивчення видового складу живих організмів певного регіону й умов їх проживання. Дослідження в басейнах річок Лівобережного Лісостепу України, до яких належить і р. Сироватка, мали фрагментарний характер і проводилися на незначних територіях (Скляр та ін., 2021; Kovalenko, 2021; Bondar et al., 2021; Tymoshko et al., 2022; Vakal & Lytvynenko, 2023; Вакал, 2024).

Аналіз наявних наукових публікацій, присвячених вивченню раритетних видів рослин території досліджень, показав, що основна увага науковців була спрямована на вивчення стану популяцій вищих рослин, які занесені до Червоної книги України (Панченко, 2008; Панченко, 2019; Скляр та ін., 2021; Шахова і Вакал, 2023; Вакал, 2024). Проте дослідження регіонально рідкісних видів рослин практично не проводилися або мали фрагментарний характер, і про них повідомляється в нечисельних працях О. С. Родінка зі співавторами (Родінка та ін., 2004), С. М. Панченка (Панченко, 2008; Панченко, 2019), В. Г. Скляр зі співавторами (Скляр та ін., 2021).

Мета дослідження полягає у вивченні поширення і стану популяцій вищих судинних рослин, занесених до переліку регіонально рідкісних видів Сумської області в межах території басейну р. Сироватка.

Матеріал і методи

Річка Сироватка протікає по території Сумського району Сумської області України. Вона бере початок біля села Покровка і впадає в річку Псел на південь від селища Низи. Її довжина – 58 км, площа басейну становить 738 кв. км (Данильченко, 2019).

Згідно із системою фізико-географічного районування України територія басейну р. Сироватка належить до Тростянецько-Сумського фізико-географічного району Сумської схилово-височинної області Східно-Українського краю лісостепової зони Східно-Європейської рівнини (Маринич та ін., 2003). У системі геоботанічного району-

вання територія досліджень розташована в межах Сумського геоботанічного округу кленово-липово-дубових, дубових лісів і лучних степів Середньоруської лісостепової підпровінції Східноєвропейської лісостепової підобласті Євразійської степової області (Дідух і Шеяг-Сосонко, 2003).

Під час вивчення регіонально рідкісних видів рослин на території досліджень були застосовані теоретичні і практичні методи. Теоретичні методи передбачали аналіз літературних джерел із подальшою їх систематизацією та узагальненням.

Практичні методи стосувалися польових досліджень і камеральної обробки даних. Польові дослідження проводилися протягом 2016–2022 років, у періоди вегетації рослин, як основний використовувався маршрутно-діагностичний метод (Якубенко та ін., 2018). Під час польових досліджень встановлювали загальну кількість регіонально рідкісних видів рослин, визначали площі ділянок поширення цих видів, їх локацію і, якщо була можливість, параметри середньої кількості рідкісних видів на ділянку в межах середовища існування або проективного покриття. Під час камеральних досліджень центотичної належності виявлених видів і угруповань рослин застосовано методику геоботанічних описів (Якубенко та ін., 2018), для чого використано еколого-фітоцентотичну класифікацію рослинності України (Продромус рослинності..., 2019). Номенклатуру виявлених видів подано за Vascular plants of Ukraine. A nomenclatural checklist (Mosyakin & Fedoronchuk, 1999). Для ідентифікації регіонально рідкісних видів рослин Сумської області використовували «Перелік видів рослин, тварин і грибів, що підлягають особливій охороні на території Сумської області» (Офіційні переліки..., 2012).

Результати та їх обговорення

Досить високий рівень біологічного різноманіття і значний ступінь антропогенної трансформованості – характерні ознаки природи території басейну р. Сироватка (Скляр та ін., 2021; Tymoshko et al., 2022).

Угруповання природної рослинності на території досліджень збереглися на незначних площах і приурочені здебільшого до балок і долин р. Сироватка та її приток. Ліси зустрічаються переважно на правобережжі річок Сироватка, Рублена і Бобрік, і серед них домінують дубові ліси, які представлені здебільшого угрупованнями формації *Querceta roboris*. Соснові ліси, ростуть на

дерново-підзолистих ґрунтах першої надзапавної тераси р. Сироватка і представлені угрупованнями формації *Pineta sylvestris* (Шахова і Вакал, 2023).

На лівобережжі р. Сироватка, на схилах балок, недоступних для розорювання, збереглися залишки колись характерної для цього району степової рослинності. Представлена вона формаціями *Stipeta capillatae*, *Stipeta pennatae*, *Festuceta valesiaca*, *Elytrigietum repentis*, *Poa angustifoliae*, *Calamagrostidetum epigeioris*.

Лучна та болотна рослинність приурочена до заплави р. Сироватка зайнята лучною і болотною рослинністю. Практично всі лучні угіддя зазнають значного антропогенного навантаження перебувають у дигресивному стані, і серед їхньої рослинності переважають угруповання формацій *Agrostidetum stoloniferae*, *Alopecuretum pratensis*, *Calamagrostidetum epigeioris*, *Festuceta pratensis*, *Festuceta rubrae*, *Phleeta pratensis* і *Poa pratensis*.

На незначних площах у заплаві р. Сироватка, Закобиля, Крупець збереглися болота, і їх рослинність представлена переважно групами формацій *Phragmitetum australis*, *Equisetum (palustris)-hypnetum*, *Glycerietum maximae*, *Caricetum acutiformis* і *Caricetum cespitosum*.

Повітряно-водна та водна рослинність зустрічається по берегах і руслах р. Сироватка, її приток і штучних водойм і представлена переважно формаціями *Glycerietum maximae*, *Phragmitetum australis*, *Typheta latifoliae*, *Sagitarietum sagittifoliae*, *Elodeetum canadensis*, *Lemnetum minoris*, *Potamogetoneta pectinati*, *Spirodeletum polyrhizae*.

Потрібно відмітити, що на початку 60-х рр. ХХ століття в заплаві р. Сироватка проводилися меліоративні роботи, також відбувалося відведення значних площ долини р. Сироватка під садові ділянки, проводилася нелімітована заготівля лікарських рослин. У зв'язку із цим деякі види раритетних рослин на цій території зникли.

За результатами проведених досліджень були отримані відомості про знахідки на території басейну р. Сироватка популяцій 28 видів вищих судинних рослин, занесених до переліку регіонально рідкісних видів рослин Сумської області, 1 виду – до Європейського червоного списку тварин і рослин, що опинилися під загрозою знищення у світовому масштабі (European Red..., 2011). Характеристику цих видів наведено нижче.

Дані про поширення на території України видів рослин взяті з «Визначника рослин України» (Визначник..., 1965).

У межах території басейну р. Сироватка трапляється один вид судинних рослин, який занесений до Європейського червоного списку та Переліку регіонально рідкісних видів рослин Сумської області – *Crataegus ucrainica* Rojark. В Україні його можна зустріти в Прикарпатті, лісових і лісостепових районах верхньої і середньої течії Дніпра. Зростає у листяних і мішаних лісах, по узліссях, по берегах річок, в антропогенних ландшафтах. У межах басейну р. Сироватка відомо два місця зростання цього виду. У 2021 році В. Г. Скляр зі співавторами дослідили популяцію *Crataegus ucrainica*, що зростає в долині р. Сироватка між селами Верхня Сироватка та Новоселиця (Скляр та ін., 2021). Інша популяція *Crataegus ucrainica* була виявлена на території ландшафтного заказника місцевого значення «Краснопільський» на узліссі липово-дубового лісу в кількості 19 екземплярів.

Нижче наводимо інформацію про 27 видів судинних рослин, включених до переліку регіонально рідкісних видів рослин Сумської області, які були виявлені нами під час польових досліджень на території басейну р. Сироватка.

Allium flavescens Bess. в Україні зростає у лісостепових і степових районах. У межах території досліджень виявлений між с. Глибне і Думівка на схилі правого корінного берега р. Рублена у складі асоціації *Stipetum (capillatae) elytrigietum (repentis)* на площі 0,1 га, близько 200 екземплярів.

Allium sphaerocephalon L. в Україні трапляється в Закарпатті, Лісостепу, Степу, Криму. У басейні р. Сироватка – степова балка біля залізничної станції Олександрівна (західніше с. Таратутине) – зустрічається асоціація *Elytrigietum (repentis) festucosum (valesiaca)* на площі 0,1 га, понад 150 екземплярів; на схилах правого корінного берега р. Рублена між селами Думівка і Глибне – асоціація *Elytrigietum (repentis) poosum (angustifoliae)* на площі близько 1,0 га, понад 400 екземплярів.

Anemone sylvestris L. в Україні поширений у Лісостепу, Північному Степу. Виявлено на схилах балок із степовою рослинністю у районі р. Рублена між с. Великий Бобрик, Думівка і Глибне в асоціації *Stipetum (capillatae) festucosum (valesiaca)* сумарно на площі 0,7 га, понад 700 екземплярів.

Aster amellus L. в Україні зустрічається в лісовій, лісостеповій зонах, південно-західних районах Степу. Виявлений на схилі балки біля залізничної станції Олександрівка в асоціації *Stipetum (capillatae) poosum (angustifoliae)* на площі 0,04 га, 100 екземплярів; у степовій балці між селами Великий Бобрик і Думівка – в асоціації *Elytrigietum (repentis) festucosum (valesiacae)* на площі 0,3 га, 50 екземплярів.

Calla palustris L. в Україні характерний для Закарпаття, Передкарпаття, Полісся, рідкісний для Лісостепу вид. Охороняється на території гідрологічної пам'ятки природи місцевого значення «Озеро Журавлине», формація *Cariceta-sphagneta* на площі 0,02 га, понад 50 екземплярів.

Campanula cervicaria L. в Україні росте в лісових районах і Лісостепу, рідко в південній частині Степу. Виявлений у Краснопілському лісництві, 42 кв. м, дубовий ліс, на схилах балки в асоціації *Tilieto-Quercetum coryloso-stellariosum (holosteeae)* на площі 0,04 га, понад 50 екземплярів.

Carex limosa L. в Україні трапляється спорадично на Поліссі, зрідка в Лісостепу та лісовому поясі Карпат. На території досліджень виявлений у заповідному урочищі «Захарівська дача» Верхньо-Сироватського лісництва, 73 кв. м, у міждюнному зниженні на боровій терасі р. Сироватка, формація *Cariceta-sphagneta*, на площі близько 1,5 га з проєктивним покриттям до 10%.

Cerasus fruticosa (Pall.) Woronov в Україні зустрічається на півдні Полісся, Лісостепу, Степу (спорадично). Виявлений у степовій балці між с. Великий Бобрик і Думівка на площі 0,5 га, 16 кущів.

Centaurea sumensis Kalen. в Україні поширена на Поліссі, в Лісостепу, рідше в Степу. Трапляється на правому корінному березі р. Рублена (між с. Глибне і Великий Бобрик), асоціація *Stipetum (pennatae) poosum (angustifoliae)*, сумарна площа кількох локусів – 0,03 га, чисельність – близько 150 екземплярів.

Clematis integrifolia L. на більшій частині території України зустрічається спорадично (крім Карпат і півдня Степу). На території досліджень трапляється в підніжжі та по днищу балки біля залізничної станції Олександрівка, асоціація *Elytrigietum (repentis) poosum (angustifoliae)* на площі 0,02 га, понад 100 рослин генеративного вікового стану.

Clematis recta L. в Україні звичайний вид для лісових районів, Лісостепу,

Північного Степу. У районі досліджень виявлений у Краснопілському лісництві, 69 кв. м, дубовий ліс, асоціація *Quercetum coryloso(avellanae)-caricosum (pilosae)*, на площі 0,15 га, близько 50 екземплярів; на лівому корінному березі р. Рублена (між с. Великий Бобрик і Глибне), асоціація *Tilieto-Quercetum coryloso-stellariosum (holosteeae)*, на площі 0,02 га, 5 екземплярів; у заповідному урочищі «Захарівська дача», Верхньо-Сироватське лісництво, 78 кв. м, дубовий ліс, асоціація *Quercetum aegopodiosum (podagrariae)*, на площі 0,04 га, 25 екземплярів.

Corydalis marschalliana (Pall. ex Willd.) Pers. – вид характерний для гірського Криму, лісостепових і степових районів України. Дуже чисельний вид, який зустрічається весною на великих площах у кленово-липово-дубових (асоціації *Acereto-Tilieto-Quercetum coryloso-stellariosum (holosteeae)*, *Tilieto-Acereto-Quercetum coryloso-caricosum (pilosae)*) і липово-дубових лісах (асоціації *Tilieto-Quercetum coryloso (avellanae)-aegopodiosum (podagrariae)*, *Tilieto-Quercetum coryloso-stellariosum (holosteeae)*) Верхньо-Сироватського і Велико-Бобрицького лісництв.

Delphinium cuneatum Steven ex DC. в Україні поширений у Лісостепу і Степу. У балці на правому корінному березі притоки р. Рублена (між селами Великий Бобрик і Глибне) виявлено 2 локуси площею 0,01 га і 0,02 га, загальною чисельністю до 50 особин генеративного вікового стану.

Delphinium litwinowii Sambuk в Україні відомий лише для Лівобережного Лісостепу. Серед рідколісся і чагарників на лівому корінному березі р. Рублена на площі 0,05 га відмічені 5 екземплярів генеративного вікового стану.

Dentaria quinquefolia M. Bieb. в Україні зустрічається в Карпатах, Поліссі, Лісостепу, північно-східній частині Степу. Цей вид є типовим для листяних лісів регіону досліджень і зустрічається на значних площах у Велико-Бобрицькому, Верхньо-Сироватському та Краснопілському лісництвах, переважно в нагірних кленово-липово-дубових і липово-дубових лісах, здебільшого у верхніх і середніх частинах схилів балок різної експозиції.

Drosera rotundifolia L. в Україні зустрічається на Поліссі, рідкісний вид для Карпат і північної частині Лісостепу. Охороняється на території гідрологічної пам'ятки природи місцевого значення «Озеро Журавлине»,

сфагнова сплавина в центрі озера в зниженні між дюнами на боровій терасі р. Сироватка, формація *Cariceta-sphagneta*, на площі 0,03 га, понад 50 екземплярів.

Galatella villosa (L.) Rchb.f. в Україні поширена в Лісостепу, Степу (крім крайнього заходу), Криму. Виявлений у степовій балці в районі залізничної станції Олександрівка (західніше с. Таратутине), асоціація *Elytrigietum (repentis) poosum (angustifoliae)*, на площі 0,04 га, близько 150 екземплярів.

Inula helenium L. поширений майже по всій території України. На території досліджень зустрічається по днищу балки, біля ставка в долині р. Рублена, угруповання *Deschampsietum (caespitosae) poosum (pratensis)*, на площі 0,005 га, близько 20 екземплярів рослин генеративного вікового стану.

Jurinea arachnoidea Bunge в Україні зустрічається спорадично в Лівобережному Лісостепу та Степу. Вид виявлений на корінному березі р. Рублена між с. Великий Бобрик, Думівка і Глибне, асоціація *Stipetum (capillatae) festucosum (valesiacaе)*, сумарна площа трьох локусів – 0,05 га, чисельність – близько 300 екземплярів рослин генеративного вікового стану; схил балки біля залізничної станції Олександрівка в угрупованні степової рослинності, асоціація *Elytrigietum (repentis) festucosum (valesiacaе)*, на площі 0,02 га, чисельність – до 100 екземплярів рослин генеративного вікового стану.

Linum flavum L. вид поширений по всій території України. На території дослідження зустрічається рідко. Був виявлений у степовій балці на лівому корінному березі р. Рублена (між с. Думівка і Глибне), асоціація *Stipetum (pennatae) poosum (angustifoliae)*, на площі 0,03 га, близько 150 екземплярів.

Linum perenne L. в Україні росте на півдні Полісся, Лісостепу і Степу (розсіяно). Виявлений на корінних берегах і по схилах балок в долині р. Рублена, майже по всій території, переважно розріджено; біля ставка в південній околиці с. Самоївка, на схилах степової балки, асоціація *Elytrigietum (repentis) festucosum (pratensis)*, на площі 0,7 га, понад 200 екземплярів.

Lycopodium clavatum L. звичайний вид для Карпат і Полісся, рідше трапляється в лісостеповій зоні України. Охороняється в заповідному урочищі «Захарівська дача» Верхньо-Сироватського лісництва, 73 кв. м, по узлісню сосняку, асоціація *Pinetum (sylvestris) calamagrostidoso (canescentis)*, на площі 0,03 га, проективне покриття – 5–10%; 1,5 км на південь від с. Михайлівка,

насадження *Betula pendula* Roth., на площі 0,015 га, проективне покриття до 30%.

Pedicularis kaufmannii Pinzg. – звичайний вид для лісостепової зони й північної частини степової зони. Зустрічається в степовій балці на правому корінному березі р. Рублена (між с. Великий Бобрик і Глибне), асоціація *Stipetum (pennatae) poosum (angustifoliae)*, на площі 0,10 га, близько 30 екземплярів.

Polemonium caeruleum L. в Україні поширений в Поліссі, лісостеповій і північно-східній степовій зонах. Виявлений на північно-східній околиці с. Самоївка, вологі луки в заплаві р. Сироватка, формація *Poeta angustifoliae*, на площі 1,0 га, близько 400 екземплярів; по днищу балки на лівобережжі р. Рублена (між с. Думівка і Глибне), вологі луки, асоціація *Deschampsietum (caespitosae) poosum (pratensis)*, на площі 0,005 га, понад 10 екземплярів.

Pyrethrum corymbosum (L.) Scop. – звичайний вид для всієї території України. На території досліджень трапляється в балці біля залізничної станції Олександрівка, серед чагарників на межі з лучно-степовими угрупованнями на площі 0,01 га, понад 20 екземплярів; у балках на лівому корінному березі р. Рублена (між с. Великий Бобрик, Думівка і Глибне) серед рідколісся – 3 локуси, сумарна площа – 0,5 га, чисельність – близько 60 рослин генеративного вікового стану; у Краснопілському лісництві, 81 кв. м, середньовіковий дубовий ліс, асоціація *Quercetum coryloso(avellanae)-caricosum (pilosaе)*, на площі 0,03 га, понад 50 екземплярів.

Scorzonera purpurea L. в Україні поширений у Росточчі-Опіллі, Поліссі, лісостеповій зоні, північній частині степової зони. Виявлений у степовій балці на правому корінному березі р. Рублена (між с. Великий Бобрик і Глибне), асоціація *Elytrigietum (repentis) poosum (angustifoliae)*, на площі близько 1,0 га, понад 300 екземплярів.

Veratrum nigrum L. в Україні розсіяно зустрічається в Росточчі-Опіллі й лісостеповій зоні, рідко на Поліссі і північній частині степової зони. У підніжжі схилів і по днищу балок на корінному березі р. Рублена (між с. Великий Бобрик, Думівка і Глибне) виявлено 2 локуси загальною площею 0,025 га, чисельністю до 35 екземплярів.

У басейні р. Сироватка зустрічаються рослинні угруповання, які занесені до Зеленої книги України (Зелена книга..., 2009), формації *Stipeta capillatae*, *Stipeta pennatae* і *Nupharetta luteae*.

Потрібно відмітити, що у 2021 році науковцями Сумського національного аграрного університету між селами Верхня Сироватка та Новоселиця, у заплаві р. Сироватка було виявлено популяцію *Salix rosmarinifolia* L. (Скляр та ін., 2021).

Серед 28 виявлених на території дослідження видів вищих судинних рослин, занесених до переліку регіонально рідкісних рослин Сумської області, у гарному стані збереженості перебувають 3 – *Clematis recta* L., *Corydalis marschalliana* (Pall. ex Willd.) Pers., *Dentaria quinquefolia* M. Bieb., які поширені в нагірних дібровах Верхньосироватського, Велико-Бобрицького й частково Краснопільського лісництв і зустрічаються на значних площах. Водночас популяції 3 видів, а саме *Cerasus fruticosa* (Pall.) Woronov, *Delphinium litwinowii* Sambuk, *Inula helenium* L., займають незначні площі, до їх складу входить менше ніж 20 рослин, і, якщо не провести заходи щодо їх збереження, вони можуть бути втрачені.

Знахідки на території басейну р. Сироватка регіонально рідкісних видів рослин Сумської області та місць їх локалізації дадуть можливість у подальшому здійснювати моніторинг стану популяцій і проводити заходи щодо забезпечення режимів їх охорони.

Висновки

Значне антропогенне навантаження на екосистеми басейну р. Сироватка призвело до того, що найбільш вразливими виявилися види рослини, виживання яких біль-

шою мірою залежить не тільки від зміни абіотичних факторів навколишнього середовища, а й від складу усталених ценозів. Дослідження території басейну р. Сироватка дали змогу виявити місця зростання й охарактеризувати локуси для 28 видів, занесених до переліку регіонально рідкісних видів рослин Сумської області. Незважаючи на встановлення основних показників щодо стану популяцій раритетних видів рослин, питання подальшого їх дослідження не втрачає актуальності.

Аналіз стану охорони рідкісних видів рослин, які зустрічаються в басейні р. Сироватка, засвідчив, що з 28 виявлених видів популяції 19 перебувають за межами об'єктів природно-заповідного фонду, що ставить під загрозу їх існування на цій території.

Оскільки в долині р. Рублена (між с. Великий Бобрик, Думівка, Глибне) виявлено 17 регіонально рідкісних видів рослин, доцільно розглянути питання щодо створення на цій території ботанічного заказника місцевого значення. Також для збереження раритетних видів рослин, які ростуть у лісах басейну р. Сироватка, потрібно перевести наявні заповідні лісові урочища до категорії ботанічних пам'яток природи місцевого значення.

З метою поглиблення знань про формування, сучасний стан і динаміку розвитку природних екосистем басейну р. Сироватки варто продовжити геоботанічні дослідження цієї території.

Список використаної літератури

Буджак В.В., Дідух Я.П. Синфітоіндикаційна оцінка оселищ рослин Червоної книги України та ризиків їхніх втрат під впливом кліматогенних змін. Геоботаніка, екологія, охорона рослинного світу. *Український ботанічний журнал*. 2020. Т. 77. № 6. С. 434–453. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj77.06.434>.

Вакал А.П. Раритетні види рослин території басейну річки Псел у межах Сумського геоботанічного округу. *Біологічні науки та освіта в контексті євроінтеграції : наукова монографія*. Рига, Латвія : Baltija Publishing, 2024. С. 82–113. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-443-6-5>.

Визначник рослин України / Барбарич А.І., Брадїс Є.М., Вісюліна О.Д. та ін.; відп. ред. Д.К. Зеров. Київ : Урожай, 1965. 876 с.

Данильченко О.С. Річкові басейни Сумської області: геоекологічний аналіз : монографія. Суми : СумДПУ імені А.С. Макаренка, 2019. 271 с. [Електронний ресурс]. URL: <https://repository.sspu.edu.ua/bitstream/123456789/7280/3/monografia%20Danylchenko%20O.S.pdf> (дата звернення 22.01.2025).

Дідух Я.П., Шеляг-Сосонко Ю.Р. Геоботанічне районування України та суміжних територій. *Український ботанічний журнал*. 2003. Т. 60. № 1. С. 6–17.

Зелена книга України / за заг. ред. Я.П. Дідуха. Київ : Альтерпрес, 2009. 448 с.

Кременецька Є.О., Голуб М.Г., Череповський М.В. Методичні підходи та ідентифікація територій із особливими цінностями для збереження (у східній частині лісів Сумської області). *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*. 2021. Т. 44. № 2. С. 19–32. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.2.3>.

- Маринич О.М., Пархоменко Г.О., Петренко О.М., Шищенко П.Г. Удосконалена схема фізико-географічного районування України. *Український географічний журнал*. 2003. № 1. С. 16–20.
- Офіційні переліки регіонально рідкісних рослин адміністративних територій України (довідкове видання) / Т.А. Андрієнко, М.М. Перегрим. Київ : Альтерпрес, 2012. 148 с.
- Панченко С.М. Синузії весняних ефемероїдів у лісах околиць м. Суми. *Вакалівщина. До 30-річчя біологічного стаціонару Сумського державного педагогічного університету імені А.С.Макаренка* : збірник наукових праць. Суми : СумДПУ ім. А.С.Макаренка, 2008. С. 111–119.
- Панченко С., Іванець В. 50 рідкісних рослин Сумщини. Атлас-довідник. Чернівці, 2019. 64 с.
- Продромус рослинності України / Д.В. Дубина, Т.П. Дзюба, С.М. Ємельянова та ін.; НАН України, Ін-т ботаніки ім. М.Г. Холодного. Київ : Наукова думка, 2019. 782 с.
- Родінка О.С., Карпенко К.К., Вакал А.П., Гончаренко І.П. Рослини, занесені до Червоного списку Сумської області. *Стан природного середовища та проблеми його охорони на Сумщині*. Суми : ПП М.Д. Вінниченко, 2004. 122 с.
- Скляр В.Г., Тихонова О.М., Кирильчук К.С., Клименко Г.О., Онопрієнко В.П., Бондарєва Л.М., Троцька С.С., Клименко Ю.О. Вивчення фіторізноманіття долини річки Сироватка з перспективою використання її природних комплексів в екологічному туризмі. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія і біологія*. 2021. Вип. 45. № 3. С. 45–51. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.3.6>.
- Устименко П.М., Попович С.Ю., Дубина Д.В. Сучасні тенденції динаміки раритетних фітоценозів України та зміна парадигми абсолютної заповідності. *Український ботанічний журнал*. 2019. Т. 76. № 5. С. 434–444. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj76.05.434>.
- Хом'як І.В., Василенко О.М., Гарбар Д.А., Андрійчук Т.В., Костюк В.С., Власенко Р.П., Шпаковська Л.В., Демчук Н.С., Гарбар О.В., Онищук І.П., Коцюба І.Ю. Методологічні підходи до створення інтегрованого синфітоіндикаційного показника антропогенної трансформації. *Екологічні науки*. 2020. № 5 (32). Т. 1. С. 136–141. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eso.5-32.19>.
- Шахова В., Вакал А. Лісова рослинність території басейну р. Сироватка. *Природнича освіта і наука для сталого розвитку України: проблеми і перспективи* : мат. IV Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. Глухів : Глухівський НПУ ім. О. Довженка, 2023. С. 200–202.
- Якубенко Б.Є., Попович С.І., Устименко П.М., Дубина Д.В., Чурілов А.М. Геоботаніка: методичні аспекти досліджень : навчальний посібник. Київ : Ліра-К, 2018. 316 с.
- Bondar O., Adamenko O., Korobkova H., Hryn Y., Tsytsiura N., Zaiarna O., Halahan O., Chalaya O., Pavlushenko Ye., Stankevych S., Matsyura A. Forest species diversity in river watersheds of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11. Issue 3. P. 79–85. https://doi.org/10.15421/2021_146.
- Bondarieva L.M., Kyrylchuk K.S., Skliar V.H., Tykhonova O.M., Zhatova H.O., & Bashtovyi M.G. Population dynamics of the typical meadow species in the conditions of pasture digression in flooded meadows. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. 9 (2). 204–211.
- Chusova O.O., Shyriaieva D.V., Budzhak V.V., Chorney I.I., Dziuba T.P., Iemelianova S.M., Kucher O.O., Moysiienko I.I., Tokariuk A.I., Vasheniak Iu.A., Vynokurov D.S., Boyko M.F., Khodosovtsev O.Ye., Kuzemko A.A. Protected species in grassland habitats of Ukraine. *Український ботанічний журнал*. 2022. Т. 79. № 5. С. 290–307. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj79.05.290>.
- European Red List of Vascular Plants / M. Bilz et al. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2011. 130 p. <https://doi.org/10.2779/8515>.
- Kaur A. Conservation of Plant Biodiversity Current Strategies and Future Needs. *International Journal of Scientific Research in Biological Sciences*. 2018. Vol. 5 (4). P. 109–113. <https://doi.org/10.26438/ijsrbs/v5i4.109113>.
- Kovalenko I.M. Forest ecosystems of the North-East of Ukraine in the context of global and regional antropogenesis. Effects of pollution and climate change on the ecosystem components / Ed. Y.V. Lykholat. Praha: Oktan Print, 2021. P. 40–69. <https://doi.org/10.46489/EOPACC-1204211>.
- Kovalenko I., Butenko S., Zhezhkun A., Porokhniach I., Abduraimov O., Klymenko H. Trends in the transformation of plant ontogenesis under global climate warming. *Agraarteadus: Journal of Agricultural Science*. 2022. Vol. 33. № 2. P. 410–417. <https://doi.org/10.15159/jas.22.27>.
- Lohvynenko I.P., Lyko S.M., Trochymchuk I.M., Portukhay O.I., Glinska S.O. Structure of some rare flora species populations in conditions of Volhynian Upland. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9. Issue 1. P. 102–114.

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

Rahman M.A. Plant diversity in Hazarikhil Wildlife Sanctuary of Chittagong and its conservation management. *Journal of Biodiversity Conservation and Bioresource Management*. 2018. Vol. 3 (2). P. 43–56. <https://doi.org/10.3329/jbcbm.v3i2.36027>.

Tymochko I.Ya., Solomakha I.V., Shevchyk V.L., Maliarenko V.M., Solomakha V.A. Ecological and coenotic features of the Syrovatka river basin in the Emerald network of the Sumy region, Ukraine. *Environmental & Socio-economic Studies*. 2022. Vol. 10 (3). P. 12–21. <https://doi.org/10.2478/environ-2022-0013>.

Vakal A., Lytvynenko Yu. Rare phyto-diversity of the Ivotka river basin within the territory of Sumy region. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 2023. Vol. 14. № 2. P. 21–37. <https://doi.org/10.31548/forest/2.2023.21>.

References

Budzhak, V.V., & Didukh, Ya.P. (2020). Synfitoindykatsiyna otsinka oselyshch roslyn Chervonoyi knyhy Ukrayiny ta ryzykiv yikhnikh vtrat pid vplyvom klimatohenykh zmin. Heobotanika, ekolohiia, okhorona roslynnoho svitu [Synphytoindication evaluation of habitats of plant species listed in the Red Data Book of Ukraine and habitat risk assessment under the impact of climate change]. *Ukrayinskyi botanichnyi zhurnal [Ukrainian Botanical Journal]*, 77 (6), 434–453 [in Ukrainian].

Vakal, A.P. (2024). Raryetni vydy roslyn terytoriyi baseynu richky Psel u mezhakh Sumskoho heobotanichnoho okruhu [Rare plant species of the Psel River basin within the Sumy geobotanical district]. *Biologichni nauky ta osvita v konteksti yevrointehratsiyi: naukova monohrafiya [Biological sciences and education in the context of European integration: Scientific monograph]*. Riga, Latvia: Baltija Publishing, pp. 82–113. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-443-6-5> [in Ukrainian].

Barbarych, A.I., Bradis, Ye.M., Visyulina, O.D. ta in. (1965). Vyznachnyk roslyn Ukrayiny [Plant Identification Guide of Ukraine]. Vidp. red. D.K. Zerov. Kyiv: Urozhay, p. 876 [in Ukrainian].

Danylchenko, O.S. (2019). Richkovi baseyny Sumskoyi oblasti: heoekologichnyi analiz: monohrafiya [River basins of Sumy region: geoecological analysis: monograph]. Sumy: SumDPU imeni A.S. Makarenka, 271 p. [Electronic resource]. URL: <https://repository.sspu.edu.ua/bitstream/123456789/7280/3/monografia%20Danylchenko%20O.S..pdf> (access date 22.01.2025) [in Ukrainian].

Didukh, Ya.P., & Shelyag-Sosonko, Yu.R. (2003). Heobotanichne raionuvannia Ukrainy ta sumizhnykh terytorii [Geobotanical zoning of Ukraine and adjusting territories]. *Ukrayinskyi botanichnyi zhurnal [Ukrainian Botanical Journal]*, 60 (1), 6–17 [in Ukrainian].

Zelena knyha Ukrayiny (2009). [The Green Data Book of Ukraine] / Ed. Ya.P. Didukh. Kyiv: Alterpress, p. 448 [in Ukrainian].

Kremenetska, Ye.O., Holub, M.G., & Cherepovsky, M.V. (2022). Metodichni pidkhody ta identyfikatsiya terytoriy iz osoblyvymy tsinnostyamy dlya zberezhenntya (u skhidniy chastyni lisiv Sumskoyi oblasti) [Methodological approaches and identification of high conservation value areas (in the eastern part of Sumy region forests)]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya "Ahronomiya i biolohiya" [Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series "Agronomy and Biology"]*, 44 (2), 19–32. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.2.3> [in Ukrainian].

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

Ofitsiyni pereliky rehionalno ridkisnykh roslyn administratyvnykh terytoriy Ukrayiny (dovidkove vydannya) (2012). [Official lists of regional rare plants of administrative territories of Ukraine (reference book)] / T.L. Andriyenko, M.M. Perehrym. Kyiv: Alterpres, p. 148 [in Ukrainian].

Panchenko, S.M. (2008). Synuziyy vesnyanykh efemeroydiv u lisakh okolyts m. Sumy [Synusia of spring ephemerals in the forests of the outskirts of the Sumy city]. *Zbirnyk naukovykh prats "Do 30-richchya biologichnoho statsionaru Sumskoho derzhavnogo pedahohichnoho universytetu imeni A.S. Makarenka. Zbirnyk naukovykh prats" [Collection of scientific works "To the 30-th anniversary of the biostationary of Sumy State Pedagogical University named after A.S. Makarenko"]*. Sumy: SumDPU imeni A.S. Makarenka, pp. 111–119 [in Ukrainian].

Panchenko, S., & Ivanets, V. (2019). 50 ridkisnykh roslyn Sumshchyny. Atlas-dovidnyk [50 rare plants of Sumy region. Atlas-handbook]. Chernivtsi, p. 64 [in Ukrainian].

- Dubyna, D.V., Dziuba, T.P., Yemelianova, S.M. et al. (2019). Prodrumy roslynosti Ukrainy [Prodrome of the vegetation of Ukraine]. Kyiv: Naukova dumka, p. 782 [in Ukrainian].
- Rodinka, O.S., Karpenko, K.K., Vakal, A.P., & Honcharenko, I.P. (2004). Roslyny, zaneseni do Chervonoho spysku Sumskoyi oblasti [Plants listed in the Red List of Sumy Region]. *Stan pryrodnoho seredovyscha ta problemy yoho okhorony na Sumshchyni* [The State of the Natural Environment and Problems of Its Protection in Sumy Region]. Sumy: PP M.D. Vinnychenko, p. 122 [in Ukrainian].
- Sklyar, V.G., Tykhonova, O.M., Kyrylchuk, K.S., Klymenko, H.O., Onoprienko, V.P., Bondarieva, L.M., Trotska, S.S., & Klymenko, Yu.O. (2021). Vyvchennya fitoriznomanittya dolyny richky Syrovatka z perspektyvy vykorystannya yiy pryrodnykh kompleksiv v ekolohichnomu turyzmi [Study of phytodiversity of the Syrovatka river valley with the perspective of using its natural complexes in ecological tourism]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya "Ahronomiya i biolohiya"* [Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series "Agronomy and Biology"], 45 (3), 45–51. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.3.6> [in Ukrainian].
- Ustymenko, P.M., Popovych, S.Yu., & Dubyna, D.V. (2019). Suchasni tendentsiyi dynamiky rarytetnykh fitotsenoziv Ukrayiny ta zmina paradyhmy absolyutnoyi zapovidnosti [Current trends in the dynamics of rare phytocoenoses in Ukraine and modification of the concept of absolute conservation]. *Ukrayinskyi botanichnyi zhurnal* [Ukrainian Botanical Journal], 76 (5), 434–444. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj76.05.434> [in Ukrainian].
- Khomiak, I.V., Vasylenko, O.M., Harbar, D.A., Andriichuk, T.V., Kostiuk, V.S., Vlasenko, R.P., Shpakovska, L.V., Demchuk, N.S., Harbar, O.V., Onyshchuk, I.P., & Kotsiuba, I.Iu. (2020). Metodolohichni pidkhody do stvorennia intehrovanoho synfitoindykatsiinoho pokaznyka antropohennoi transformatsii [Methodological approaches to the creation of an integrated synphyto-indicative indicator of anthropogenic transformation]. *Ekolohichni nauky* [Ecological sciences], 5 (32), 1, 136–141. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.5-32.19> [in Ukrainian].
- Shakhova V., & Vakal A. (2023). Lisova roslynnist terytoriyi baseynu r. Syrovatka [Forest vegetation of the Syrovatka River basin]. *Pryrodnycha osvita i nauka dlya staloho rozvytku Ukrayiny: problemy i perspektyvy: mat. IV Vseukr. nauk.-prakt. internet-konf.* [Natural education and science for sustainable development of Ukraine: problems and prospects: mat. IV All-Ukrainian scientific-practical internet conference]. Glukhiv: Hlukhivskyy NPU im. O. Dovzhenka. 200–202 [in Ukrainian].
- Yakubenko, B.Ye., Popovych, S.I., Ustymenko, P.M., Dubyna, D.V., & Churilov, A.M. (2018). Heobotanika: metodychni aspekty doslidzen. Navchalnyi posibnyk [Geobotany: methodological aspects of research. Study guide]. Kyiv: Lira-K, p. 316 [in Ukrainian].
- Bondar, O., Adamenko, O., Korobkova, H., Hryn, Y., Tsytsiura, N., Zaiarna, O., Halahan, O., Chalaya, O., Pavlushenko, Ye., Stankevych, S., & Matsyura, A. (2021). Forest species diversity in river watersheds of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11 (3), 79–85. https://doi.org/10.15421/2021_146 [in English].
- Bondarieva, L.M., Kyrylchuk, K.S., Skliar, V.H., Tykhonova, O.M., Zhatova, H.O., & Bashtovyi, M. G. (2019). Population dynamics of the typical meadow species in the conditions of pasture digression in flooded meadows. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9 (2), 204–211 [in English].
- Chusova, O.O., Shyriaieva, D.V., Budzhak, V.V., Chorney, I.I., Dziuba, T.P., Iemelianova, S.M., Kucher, O.O., Moysiienko, I.I., Tokariuk, A.I., Vasheniak, Iu.A., Vynokurov, D.S., Boyko, M.F., Khodosovtsev, O.Ye., & Kuzemko, A.A. (2022). Protected species in grassland habitats of Ukraine. *Ukrainian Botanical Journal*, 79 (5), 290–307. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj79.05.290> [in English].
- Bilz, M. et al. (2011). European Red List of Vascular Plants. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 130 p. <https://doi.org/10.2779/8515> [in English].
- Kaur, A. (2018). Conservation of Plant Biodiversity Current Strategies and Future Needs. *International Journal of Scientific Research in Biological Sciences*, 5 (4), 109–113. DOI: 10.26438/ijsrbs/v5i4.109113 [in English].
- Kovalenko, I., Butenko, S., Zhezhkun, A., Porokhniach, I., Abduraimov, O., & Klymenko, H. (2022). Trends in the transformation of plant ontogenesis under global climate warming. *Agraarteacus: Journal of Agricultural Science*, 33 (2), 410–417. <https://doi.org/10.15159/jas.22.27> [in English].
- Kovalenko, I.M. (2021). Forest ecosystems of the North-East of Ukraine in the context of global and regional antropogenesis. Effects of pollution and climate change on the ecosystem components / Ed. Y.V. Lykholat. Praha: Oktan Print, 40–69. <https://doi.org/10.46489/EOPACC-1204211> [in English].

Lohvynenko, I.P., Lyko, S.M., Trochymchuk, I.M., Portukhay, O.I., & Glinska, S.O. (2019). Structure of some rare flora species populations in conditions of Volhynian Upland. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9 (1), 102–114 [in English].

Mosyakin, S.L., & Fedoronchuk, M.M. (1999). Vascular Plants of Ukraine. A Nomenclatural Checklist. Kyiv: M.G. Kholodny Institute of Botany, p. 345 [in English].

Rahman, M.A. (2018). Plant diversity in Hazarikhil Wildlife Sanctuary of Chittagong and its conservation management. *Journal of Biodiversity Conservation and Bioresource Management*, 3 (2), 43–56. <https://doi.org/10.3329/jbcbm.v3i2.36027> [in English].

Tymochko, I.Ya., Solomakha, I.V., Shevchyk, V.L., Maliarenko, V.M., & Solomakha, V.A. (2022). Ecological and coenotic features of the Syrovatka river basin in the Emerald network of the Sumy region, Ukraine. *Environmental & Socio-economic Studies*, 10 (3), 12–21. <https://doi.org/10.2478/environ-2022-0013> [in English].

Vakal, A., & Lytvynenko, Yu. (2023). Rare phyto-diversity of the Ivotka river basin within the territory of Sumy region. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 14 (2), 21–37. <https://doi.org/10.31548/forest/2.2023.21> [in English].

Отримано: 25.01.2025

Прийнято: 11.02.2025



УДК 582.32 (477)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.2>

БРІОФЛОРА МІСТА УЖГОРОДА

В. М. Вірченко¹, Л. М. Фельбаба-Клушина², Р. Е. Садигов³

Ужгород – адміністративний центр Закарпатської обл. Розташований на схилах Вулканічного хребта і терасах р. Уж. Площа міста становить близько 40 кв. км, де проживає понад 120 тис. населення. На початку XX століття мохоподібні Закарпаття вивчали угорські, чеські та словацькі ботаніки. Після Другої світової війни ці дослідження продовжили українські дослідники. Загалом до наших досліджень для м. Ужгорода було відомо 17 видів бріофітів. У 2022–2023 роках авторами статті досліджувалися мохоподібні м. Ужгорода. Були обстежені скельнодубові ліси в історичних районах Червениця і Шахта, штучні деревні насадження в парках Підзамковий, Боздоський, Ротарі, скверах Масарика, Петефі, а також на набережній Незалежності і вздовж вулиць. За результатами оригінальних досліджень і врахування літературних даних у м. Ужгороді встановлено 90 видів мохоподібних, з них 11 видів печіночники і 79 – мохи. Провідні місця в спектрі родин мохів займають *Orthotrichaceae* (10 видів), *Brachytheciaceae* (9) і *Pottiaceae* (6); решта 26 родин налічує 1–5 видів. Печіночники представлені 9 родами, з яких тільки *Metzgeriaceae* і *Ricciaceae* містять по два види. Видове багатство бріофітів спостерігається переважно на стовбурах дерев, а також на природних і штучних кам'янистих субстратах. Як і в м. Берегове, тут трапляється експансивний у Західній Європі епіфіт *Dicranoweisia cirrata* (Hedw.) Lindb. У масиві Червениця зростає низка епіфітних і епілітних мохоподібних, котрі не виявлені в зелених насадженнях забудованої частини м. Ужгорода. Поряд із поширеними в бріофлорі міста виявлені деякі рідкісні види – *Dicranum viride* (Sull. & Lesq.) Lindb., занесений до Додатку I Бернської конвенції та Червоного списку мохоподібних України, а також нові види для Українських Карпат *Bryum ruderale* Crundw. & Nyholm. і *Schistidium crassipilum* H.H.Blom.

Ключові слова: урбанобріофлора, таксономічна структура, розподіл за субстратами, рідкісні види, Ужгород, Закарпаття, Україна.

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

² доктор біологічних наук, професор,
завідувач кафедри ботаніки
(Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет», м. Ужгород)
e-mail: lyubov.felbaba-klushyna@uzhnu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-4891-4229

³ аспірант кафедри ботаніки
(Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет», м. Ужгород)
e-mail: rostyslav.sadyhov@uzhnu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-6028-8806

THE BRYOPHYTE FLORA OF UZHGOROD TOWN

V. M. Virchenko, L. M. Felbaba-Klushyna, R. E. Sadygov

Uzhhorod is the administrative center of the Transcarpathian region. The town is located on slopes of the Volcanic range and on terraces of the Uzh river. Its area occupies about of 40 square kilometres where over 120 thousand population lives. At the beginning of the XX century, bryophytes of the Transcarpathia studied Hungarian, Czech and Slovak botanists. After the Second World War, these studies continued Ukrainian researchers. In general, 17 species of bryophytes were known till our research. In 2022–2023 years, a modern bryofloristic study of Uzhhorod was carried out. Oak forests of the historical areas Chervenysia and Shakhta were examined, as well as parks Pidzamkovyi, Bozdoskyi, Rotary, public gardens Masaryk, Petefy and some street plantations. As a result of the generalization of own and literary data in the town of Uzhhorod 90 species of bryophytes have been established, of which 11 species liverworts and 79 ones of mosses. Leading places in the spectrum of moss families occupy Orthotrichaceae (10 species), Brachytheciaceae (9) and Pottiaceae (6); the rest 26 families include 1–5 species each. Liverworts represent by 9 families, out of them only Metzgeriaceae and Ricciaceae include 2 species each. The richness of bryophyte species is observed mainly on trunks of trees, after that on natural and artificial rocky substrates. Like in Berehove town, expansive in Western Europe species *Dicranoweisia cirrata* (Hedw.) Lindb. occurs here. In the massif Chervenysia, a number of mosses are growing, which are not detected within the built-up part of Uzhhorod. In this town, apart from widespread mosses, some rare taxa, namely *Dicranum viride* (Sull. & Lesq.) Lindb., included in Appendix I of the Berne Convention and the Red list of bryophytes of Ukraine, as well as new species for the Ukrainian Carpathians *Bryum ruderae* Crundw. & Nyholm. and *Schistidium crassipilum* H.H. Blom. are known.

Key words: urbanobryoflora, taxonomical structure, substrate division, rare species, Uzhhorod town, Transcarpathia, Ukraine.

Вступ

Бріофлористичні дослідження на Закарпатті в XIX та першій половині XX ст. провадили угорські, чеські та словацькі дослідники. Із середини минулого століття тут починають працювати українські ботаніки. За даними угорських і українських бріологів, для м. Ужгорода загалом вказували 17 видів мохоподібних (Boros & Vajda, 1968–1969; Зеров і Партика, 1975; Улична, 1976, 1978 та ін.). Достовірність визначення ще одного моху, *Stereodon pratensis* (W.D.J. Koch ex Spruce) Warnst., наведеного для міста Ф. Гашлінським, А. Борош ставив під сумнів. Із цих 17 видів лише 6 нами не підтверджено, а саме *Riccia fluitans*⁴, *R. glauca*, *Scapania curta*, *Tortula truncata*, *Dicranum fulvum*, *Alleniella besseri*. Причому два останні види були нами виявлені в околицях Ужгорода поблизу Невицького замку. Метою нашого дослідження було вивчення різноманіття мохоподібних м. Ужгорода й особливостей їх розподілу за субстратами.

Матеріал і методи

Ужгород – адміністративний центр Закарпатської обл. Розташований на схилах Вулканічного хребта і терасах р. Уж. Через місто протікає р. Уж – ліва притока

Лаборця, що належить до басейну р. Тиса. Площа міста становить близько 40 кв. км, з яких 20,6 кв. км припадає на селітебну зону, а 15,3 кв. км – на зелену зону (парки, сади, сквери тощо). Місто простягнулося з півночі на південь на 12 км і на 5 км – зі сходу на захід. Найнижча точка міста розміщена в районі залізничного вокзалу (112 м н. р. м.), а найвища досягає 224 м н. р. м. Клімат помірно-континентальний, із жарким літом і м'якою зимою. Середньорічна температура становить +10,5 °С. Опадів у середньому 730 мм на рік. На початку 90-х років XX ст. тут проживало майже 120 тис. жителів. Ужгород – важливий промисловий, освітній, культурний і туристичний центр Закарпаття (Географічна..., 1993).

У червні 2022 р. і квітні 2023 р. авторами статті досліджувалися мохоподібні м. Ужгорода. Були обстежені скельнодубові ліси в історичних районах Червениця і Шахта, штучні деревні насадження в парках Підзамковий, Боздоський, Ротарі, скверах Масарика, Петефі, а також на набережній Незалежності і вздовж вулиць. Збір бріологічного матеріалу провадили на стовбурах живих дерев (кленів, ясенів, лип, тополь, верб, платанів), природному камінні, штучних кам'янистих субстратах

⁴ Примітка. Тут і далі в статті назви авторів видових епітетів наводяться в "Списку мохоподібних..."

(мури, бетон, асфальт) і ґрунті. Загалом було зібрано близько 70 пакетів мохоподібних. Зібрані зразки визначені у відділі фікології, ліхенології та бріології Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного НАНУ за вітчизняними визначниками і «Флорами». Латинські видові назви й обсяг родин подані за сучасним «Анотованим чеклістом мохоподібних Європи, Макаронезії та Кіпру» (Hodgetts et al., 2020), адаптованим для України (Вірченко і Нипорко, 2022).

Результати

З урахуванням результатів наших досліджень і літературних відомостей у м. Ужгороді на сьогодні встановлено 90 видів мохоподібних, з них 11 видів печіночники і 79 – мохи. Провідні місця в спектрі родин мохів займають Orthotrichaceae (10), Brachytheciaceae (9 видів) і Pottiaceae (6); решта 26 родин налічує 1–5 видів. Печіночники представлені 9 родинами, з яких тільки Metzgeriaceae і Ricciaceae містять по два види. Поряд із поширеними в місті знайдені деякі рідкісні види, зокрема *Dicranum viride*, занесений до Додатку I Бернської конвенції та Червоного списку мохоподібних України (Бойко, 2010). Раніше на Закарпатті цей вид був знайдений нами поблизу Ужгорода в пам'ятці природи «Тепла яма» (Фельбаба-Клушина та ін., 2022) і Ужанському НПП (Вірченко та ін., 2023). Наступні два, *Bryum rudemale* і *Schistidium crassipilum*, уперше встановлено для Українських Карпат. Нижче наводиться список мохоподібних м. Ужгорода, який у майбутньому може бути доповнений.

Список мохоподібних м. Ужгорода

Відділ MARCHANTIOPHYTA – печіночники

Родина Anastrophyllaceae L. Soderstr., De Roo & Hedd.

Barbilophozia barbata (Schmidel ex Schreb.) Loeske. Червениця, скельнодубовий ліс, на затінених валунах, 10.06.2022.

Родина Scapaniaceae Mig.

Scapania curta (Mart.) Dumort. (Boros & Vajda, 1967–68).

Родина Lophocoleaceae Vanden Berghen

Lophocolea heterophylla (Schrader) Dumort. Шахта, на окоренках верб біля зниження з водою, 03.04.2023.

Родина Plagiochilaceae Müll. Frib.

Plagiochila porelloides (Torr. ex Nees) Lindenb. Червениця, скельнодубовий ліс, на затінених валунах, 10.06.2022.

Родина Frullaniaceae Lorch

Frullania dilatata (L.) Dumort. (Улична, 1976); Червениця, насадження дуба пів-

нічного, на деревах, 02.06.2022; там само, скельнодубовий ліс, на дубах, 02.06.2022; Шахта, на дубі, 03.04.2023; набережна Незалежності, на старих липах, 04.04.2023.

Родина Porellaceae Cavers

Porella platyphylla (L.) Pfeiff. (Зеров і Партика, 1975); Червениця, насадження дуба північного, на деревах, 02.06.2022; там само, скельнодубовий ліс, на дубах, 02.06.2022.

Родина Radulaceae Mull. Frib.

Radula complanata (L.) Dumort. Червениця, насадження дуба північного, на деревах, 02.06.2022; там само, скельнодубовий ліс, на дубах, 02.06.2022; Шахта, на дубі, 03.04.2023; ботсад УжНУ, на стовбурі клена ясенolistого, 04.04.2023; набережна Незалежності, на старих липах, 04.04.2023.

Родина Metzgeriaceae H. Klinggr.

Metzgeria conjugata Lindb. Червениця, скельнодубовий ліс, на затінених валунах, 10.06.2022.

Metzgeria furcata (L.) Corda. (Зеров і Партика, 1975); Червениця, скельнодубовий ліс, на дубах, 02.06.2022; Шахта, на камінні коло западини з водою, 03.04.2023.

Родина Ricciaceae Rchb.

Riccia fluitans L. (Boros & Vajda, 1967–68).

Riccia glauca L. (Boros & Vajda, 1967–68).

Відділ BRYOPHYTA – мохи

Родина Polytrichaceae Schwägr.

Atrichum angustatum (Brid.) Bruch & Schimp. Шахта, на освітленому пагорбі, 03.04.2023.

Atrichum undulatum (Hedw.) P. Beauv. (Boros & Vajda, 1967–68); Червениця, насадження дуба північного, на ґрунті, 02.06.2022; там само, скельнодубовий ліс, на ґрунті, 03.04.2023.

Polytrichum formosum Hedw. Червениця, насадження дуба північного, на ґрунті, 02.06.2022; там само, скельнодубовий ліс, на ґрунті, 03.04.2023; Шахта, на освітленому пагорбі, 03.04.2023.

Родина Funariaceae Schwägr.

Funaria hygrometrica Hedw. Шахта, на старому кострищі, 03.04.2023.

Родина Dicranellaceae M. Stech

Dicranella heteromalla (Hedw.) Schimp. (Зеров і Партика, 1975); Червениця, насадження дуба північного, на ґрунті, 02.06.2022; там само, скельнодубовий ліс, на ґрунті, 03.04.2023.

Родина Fissidentaceae Schimp.

Fissidens taxifolius Hedw. Шахта, на затінених глинистих схилах, 03.04.2023.

Родина Dicranaceae Schimp.

Dicranum fulvum Hook. (Улична, 1978).

Dicranum montanum Hedw. Червениця, насадження дуба північного, на деревах, 02.06.2022; там само, скельнодубовий ліс, на дубах, 03.04.2023.

Dicranum scoparium Hedw. Червениця, скельнодубовий ліс, на затінених валунах, 10.06.2022; Боздоський парк, на березі, 07.04.2023.

Dicranum viride (Sull. & Lesq.) Lindb. Червениця, скельнодубовий ліс, на затінених валунах, 10.06.2022.

Paraleucobryum longifolium (Hedw.) Loeske. Червениця, скельнодубовий ліс, на затінених валунах, 10.06.2022.

Родина Rhabdoweisiaceae Limpr.

Dicranoweisia cirrata (Hedw.) Lindb. Червениця, край скельнодубового лісу, на колоді дуба, 02.06.2022; Ротарі-парк, на березі, 18.06.2022; Шахта, на дубі, 03.04.2023; Православна набережна, на клені, 06.04.2023; Боздоський парк, на березі, 07.04.2023.

Родина Ditrichaceae Limpr.

Ceratodon purpureus (Hedw.) Brid. На бетонній стіні біля біофаку УжНУ, 04.04.2023; вул. Капітульна, на мурах, 04.04.2023; Боздоський парк, на мертвій деревині, 07.04.2023.

Родина Pottiaceae Schimp.

Didymodon rigidulus Hedw. Шахта, на освітленій бетонній стінці, 03.04.2023.

Syntrichia papillosa (Wils.) Jur. Ротарі-парк, на березі, 18.06.2022; Шахта, на дубі, 03.04.2023; ботсад УжНУ, на стовбурі клена ясенюлистого, 04.04.2023; сквер Масарика, на ясені, 04.04.2023; площа Народна, на бетонному стовпчику, 04.04.2023; набережна Незалежності, на липах, 04.04.2023; вул. Капітульна, на мурах, 04.04.2023.

Syntrichia ruralis (Hedw.) F. Weber & D. Mohr. Вул. Капітульна, на мурах, 04.04.2023; Боздоський парк, на тополі, 07.04.2023.

Syntrichia virescens (De Not.) Ochyra. Ротарі-парк, на березі, 18.06.2022; на бетонній стіні біля біофаку УжНУ, 04.04.2023; ботсад УжНУ, на стовбурі клена ясенюлистого, 04.04.2023; площа Народна, на бетонному стовпчику, 04.04.2023; набережна Незалежності, на липах, 04.04.2023; вул. Капітульна, на мурах, 04.04.2023.

Tortula muralis Hedw. Шахта, на освітленій бетонній стінці, 03.04.2023; на бетонній стіні біля біофаку УжНУ, 04.04.2023; вул. Капітульна, на мурах, 04.04.2023.

Tortula truncata (Hedw.) Mitt. (Boros & Vajda, 1967–1968).

Родина Grimmiaceae Arn.

Grimmia hartmanii Schimp. Червениця, скельнодубовий ліс, на затінених валунах, 10.06.2022.

Grimmia ovalis (Hedw.) Lindb. (Улична, 1978); музей архітектури, на камінні, 04.04.2023.

Grimmia pulvinata (Hedw.) Sm. Шахта, на освітленій бетонній стінці, 03.04.2023; площа Народна, на бетонному стовпчику, 04.04.2023; вул. Капітульна, на мурах, 04.04.2023; музей архітектури, на камінні, 04.04.2023; Ротарі-парк, на гіркокаштані, 04.04.2023.

Schistidium apocarpum (Hedw.) Bruch et Schimp. На бетонній стіні біля біофаку УжНУ, 04.04.2023.

Schistidium crassipilum H.N. Blom. Шахта, на освітленій бетонній стінці, 03.04.2023.

Родина Hedwigiaceae Schimp.

Hedwigia ciliata (Hedw.) P. Beauv. Ботанічний сад, 17.08.1946 (Лазаренко); Червениця, скельнодубовий ліс, на затінених валунах, 10.06.2022; музей архітектури, на камінні, 04.04.2023; Ротарі-парк, на гіркокаштані, 04.04.2023.

Родина Bryaceae Schwägr.

Bryum argenteum Hedw. Шахта, на освітленій бетонній стінці, 03.04.2023; на бетонній стіні біля біофаку УжНУ, 04.04.2023; площа Народна, на бетонному стовпчику, 04.04.2023.

Bryum dichotomum Hedw. На бетонній стіні біля біофаку УжНУ, 04.04.2023.

Bryum ruderae Grundw. & Nyholm. Вул. Капітульна, на мурах, 04.04.2023.

Ptychostomum imbricatum (Müll. Hal.) Holyoak & N. Pedersen. Вул. Капітульна, на мурах, 04.04.2023.

Ptychostomum moravicum (Podp.) Ros & Mazimpaka. Ротарі-парк, на березі, 18.06.2022; ботсад УжНУ, на стовбурі клена ясенюлистого, 04.04.2023; набережна Незалежності, на липах, 04.04.2023; вул. Капітульна, на мурах, 04.04.2023.

Родина Mniaceae Schwägr.

Plagiomnium affine (Blandow ex Funck) T.J. Кор. Шахта, на освітленому пагорбі, 03.04.2023.

Plagiomnium cuspidatum (Hedw.) T.J. Кор. (Зеров і Партика, 1975); Червениця, скельнодубовий ліс, на затінених валунах, 10.06.2022; Шахта, на окоренках верб біля зниження з водою, 03.04.2023.

Plagiomnium undulatum (Hedw.) T.J. Кор. Сквер Масарика, на ґрунті серед трави, 04.04.2023.

Rhizomnium punctatum (Hedw.) T.J. Кор. Шахта, на окоренках верб біля зниження з водою, 03.04.2023.

Родина Orthotrichaceae Arn.

Lewinskya affinis (Schrad. ex Brid.) F. Lara, Garilleti & Goffinet. Ротарі-парк, на гіркокаштані, 04.04.2023; Боздоський парк, на тополі та березі, 07.04.2023.

Lewinskya speciosa (Nees) F. Lara, Garilleti & Goffinet. Шахта, на осиці, 03.04.2023; ботсад УЖНУ, на стовбурі клена ясенюлистого, 04.04.2023; Боздоський парк, на тополі, 07.04.2023.

Lewinskya striata (Hedw.) F. Lara, Garilleti & Goffinet. Шахта, на осиці, 03.04.2023; Боздоський парк, на березі, 07.04.2023.

Nyholmiella obtusifolia (Brid.) Holmen & E. Warncke. Ботсад УЖНУ, на стовбурі клена ясенюлистого, 04.04.2023; сквер Масарика, на ясені, 04.04.2023; Боздоський парк, на тополі, 07.04.2023.

Orthotrichum anomalum Hedw. (Boros & Vajda, 1967–1968); на бетонній стіні біля біофаку УЖНУ, 04.04.2023; сквер Масарика, на ясені, 04.04.2023; площа Народна, на бетонному стовпчику, 04.04.2023; вул. Капітульна, на мурах, 04.04.2023; Ротарі-парк, на гіркокаштані, 04.04.2023.

Orthotrichum diaphanum Brid. Ротарі-парк, на березі, 18.06.2022; на бетонній стіні біля біофаку УЖНУ, 04.04.2023; ботсад УЖНУ, на стовбурі клена ясенюлистого, 04.04.2023; площа Народна, на бетонному стовпчику, 04.04.2023; набережна Незалежності, на липах, 04.04.2023; Боздоський парк, на тополі, 07.04.2023.

Orthotrichum patens Bruch ex Brid. Червениця, насадження дуба північного, на деревах, 02.06.2022; Ротарі-парк, на березі, 18.06.2022; Шахта, на дубі, 03.04.2023; ботсад УЖНУ, на стовбурі клена ясенюлистого, 04.04.2023; Боздоський парк, на березі, 07.04.2023.

Orthotrichum pumilum Sw. ex anon. Набережна Незалежності, на липах, 04.04.2023; вул. Капітульна, на мурах, 04.04.2023; Боздоський парк, на тополі, 07.04.2023.

Pulvigerella lyellii (Hook. & Taylor) Plášek, Sawicki & Ochura. Ротарі-парк, на березі, 18.06.2022; Шахта, на дубі, 03.04.2023; ботсад УЖНУ, на стовбурі клена ясенюлистого, 04.04.2023; набережна Незалежності, на липах, 04.04.2023.

Ulota crispa (Hedw.) Brid. s. l. Червениця, насадження дуба північного, на деревах, 02.06.2022; там само, скельнодубовий ліс, на дубах, 03.04.2023.

Родина Plagiotheciaceae M. Fleisch.

Plagiothecium cavifolium (Brid.) Z. Iwats. Червениця, скельнодубовий ліс, на затієних валунах, 10.06.2022; там само, скельнодубовий ліс, на ґрунті, 03.04.2023; Шахта, на ґрунті коло дуба, 03.04.2023.

Родина Pterigynandraceae Schimp.

Pterigynandrum filiforme Hedw. Парк Підзамковий, на старій тополі, 06.04.2023.

Родина Amblystegiaceae G. Roth

Amblystegium serpens (Hedw.) Schimp. (Boros & Vajda, 1967–1968); Червениця, скельнодубовий ліс, на дубах, 03.04.2023; Шахта, на камені коло западини з водою, 03.04.2023.

Cratoneuron filicinum (Hedw.) Spruce. Ботсад УЖНУ, на стінках цементного басейну, 04.04.2023.

Hygroamblystegium varium (Hedw.) Mönk. Шахта, на окоренках верб біля зниження з водою, 03.04.2023; ботсад УЖНУ, на стінках цементного басейну, 04.04.2023; вул. Капітульна, на мурах, 04.04.2023; Боздоський парк, на мертвій деревині, 07.04.2023.

Leptodictyum riparium (Hedw.) Warnst. Шахта, на окоренках верб у зниженні з водою, 03.04.2023.

Pseudoamblystegium subtile (Hedw.) Vanderp. & Hedenäs. Червениця, скельнодубовий ліс, на дубах, 03.04.2023.

Родина Leskeaceae Schimp.

Leskea polycarpa Hedw. Червениця, насадження дуба північного, на деревах, 02.06.2022; Шахта, на осиці, 03.04.2023; ботсад УЖНУ, на стовбурі клена ясенюлистого, 04.04.2023; сквер Масарика, на ясені, 04.04.2023; набережна Незалежності, на липах, 04.04.2023.

Родина Pseudoleskeaceae Ignatov

& Ignatova

Pseudoleskeella nervosa (Brid.) Nyholm. Червениця, скельнодубовий ліс, на дубах, 03.04.2023.

Родина Thuidiaceae Schimp.

Thuidium assimile (Mitt.) A. Jaeger. Шахта, на освітленому пагорбі, 03.04.2023.

Thuidium delicatulum (Hedw.) Schimp. Червениця, скельнодубовий ліс, на затієних валунах, 10.06.2022.

Родина Brachytheciaceae Schimp.

Brachytheciastrum velutinum (Hedw.) Ignatov et Huttunen. Червениця, насадження

дуба північного, на деревах, 02.06.2022; Шахта, на камінні коло западини з водою, 03.04.2023.

Brachythecium rutabulum (Hedw.) Schimp. Шахта, на зволоженому ґрунті, 03.04.2023; сквер Масарика, на ґрунті серед трави, 04.04.2023; Боздоський парк, на мертвій деревині, 07.04.2023.

Brachythecium salebrosum (Hoffm. ex F. Weber et D. Mohr) Schimp. Червениця, скельнодубовий ліс, на дубах, 03.04.2023; Боздоський парк, на мертвій деревині, 07.04.2023.

Cirriphyllum piliferum (Hedw.) Grout. Шахта, на освітленому пагорбі, 03.04.2023; сквер Масарика, на ґрунті серед трави, 04.04.2023.

Homalothecium sericeum (Hedw.) Schimp. Червениця, скельнодубовий ліс, на дубах, 02.06.2022; Боздоський парк, на дубовій колоді, 07.04.2023.

Oxyrrhynchium hians (Hedw.) Loeske. Червениця, насадження дуба північного, на ґрунті, 02.06.2022; сквер Масарика, на ґрунті серед трави, 04.04.2023; Боздоський парк, на мертвій деревині, 07.04.2023.

Pseudoscleropodium purum (Hedw.) M. Fleisch. (Бачурина і Мельничук, 2003); Шахта, на освітленому пагорбі, 03.04.2023.

Rhynchostegium murale (Hedw.) Schimp. Ботсад УжНУ, на стінках цементного басейну, 04.04.2023.

Sciuro-hypnum populeum (Hedw.) Ignatov et Huttunen. Червениця, скельнодубовий ліс, на затінених валунах, 10.06.2022; Шахта, на камінні коло западини з водою, 03.04.2023.

Родина Hypnaceae Schimp.

Hypnum cupressiforme Hedw. Червениця, насадження дуба північного, на деревах, 02.06.2022; там само, скельнодубовий ліс, на затінених валунах, 10.06.2022; Ротарі-парк, на березі, 18.06.2022; Шахта, на дубі, 03.04.2023; ботсад УжНУ, на стовбурі клена ясенюлистого, 04.04.2023; набережна Незалежності, на липах, 04.04.2023.

Родина Callicladiaceae Jan Kučera & Ignatov
Callicladium haldanianum (Grev.) H.A. Crum. Червениця, край скельнодубового лісу, на колоді дуба, 02.06.2022.

Родина Pylaisiadelphaceae Goffinet & W.R. Buck

Platygyrium repens (Brid.) Schimp. Червениця, насадження дуба північного, на деревах, 02.06.2022; Ротарі-парк, на березі, 18.06.2022; Шахта, на дубі, 03.04.2023; набережна Незалежності, на липах, 04.04.2023.

Родина Jocheniaceae Jan Kučera & Ignatov
Jochenia pallescens (Hedw.) Hedenäs, Schlesak & D. Quandt. Червениця, край скельнодубового лісу, на колоді дуба, 02.06.2022.

Родина Pylaisiaceae Schimp.

Calliergonella cuspidata (Hedw.) Loeske. Шахта, на освітленому пагорбі, 03.04.2023.

Pylaisia polyantha (Hedw.) Schimp. Червениця, насадження дуба північного, на деревах, 02.06.2022; сквер Масарика, на ясені, 04.04.2023; набережна Незалежності, на липах, 04.04.2023.

Родина Leucodontaceae Schimp.

Leucodon sciuroides (Hedw.) Schwägr. Червениця, скельнодубовий ліс, на дубах, 02.06.2022; Ротарі-парк, на гіркокаштані, 04.04.2023.

Родина Neckeraceae Schimp.

Alleniella complanata S.Olsson, Enroth & D. Quandt. Боздоський парк, на дубовій колоді, 07.04.2023.

Alleniella besseri (Lob.) S. Olsson, Enroth & D. Quandt. Ботанічний сад, 17.08.1946 (Лазаренко).

Exsertotheca crispa (Hedw.) S. Olsson, Enroth & D. Quandt. Боздоський парк, на дубовій колоді, 07.04.2023.

Homalia trichomanoides (Hedw.) Brid. Червениця, скельнодубовий ліс, на дубах, 03.04.2023; Боздоський парк, на дубовій колоді, 07.04.2023.

Pseudanomodon attenuatus (Hedw.) Ignatov & Fedosov. Червениця, скельнодубовий ліс, на дубах, 02.06.2022; Боздоський парк, на дубовій колоді, 07.04.2023.

Родина Lembophyllaceae Broth.

Isothecium alopecuroides (Lam. ex Dubois) Isov. Червениця, скельнодубовий ліс, на дубах, 02.06.2022; там само, скельнодубовий ліс, на затінених валунах, 10.06.2022; Шахта, на дубі, 03.04.2023; Боздоський парк, на дубовій колоді, 07.04.2023.

Родина Anomodontaceae Kindb.

Anomodon longifolius (Schleich. ex Brid.) Hartm. Червениця, скельнодубовий ліс, на дубах, 03.04.2023.

Anomodon viticulosus (Hedw.) Hook. & Taylor. Червениця, скельнодубовий ліс, на дубах, 02.06.2022; Боздоський парк, на тополі, 07.04.2023.

Обговорення

У дослідженні розподілу бріофітів за субстратами було встановлено, що найбагатший флористичний склад мохоподібних спостерігається на окоренках і стовбурах дерев, а саме 48 видів. На різних форофі-

тах уздовж вулиць і в скверах міста часто селяться такі види, як *Syntrichia papillosa*, *S. virescens*, *Orthotrichum pumilum*, *O. diaphanum*, *Nyholmiella obtusifolia*, *Pulvigerella lyellii*, *Leskea polycarpa*, *Pylaisia polyantha*, *Hypnum cupressiforme*. Переважно на дубах і берегах трапляється експансивний в Західній Європі (Godovicova & Misikova, 2017; Fudali & Zolnierz, 2019) епіфіт *Dicranoweisia cirrata*, котрий раніше нами виявлений на Закарпатті в м. Берегове (Вірченко, 2021). У парках до цих видів приєднуються печіночники *Radula complanata* і *Frullania dilatata*, а також мохи *Ptychostomum moravicum*, *Lewinskya speciosa*, *Platygyrium repens*, *Brachythecium salebrosum*, *Leucodon sciuroides* та ін. Звісно, найбільше різноманіття епіфітів спостерігається в лісостанах на околицях Ужгорода (Червениця). Тут зафіксовані види природних лісів, як-от *Porella platyphylla*, *Homalia trichomanoides*, *Pseudanomodon attenuates*, *Anomodon viticulosus*, *A. longifolius*, *Isothecium alopecuroides*. Під час нашого обстеження Ужгорода представники роду *Neckera* s.l., характерні для карпатських широколистяних лісів, не знайдені на стовбурах живих дерев. Однак *Alleniella besserii* наводилась А. С. Лазаренком для ботанічного саду в 1946 році. Ще два види, а саме *Alleniella complanata* і *Exsertotheca crispa*, виявлені нами в Боздоському парку на дубовій колоді, котра була, мабуть, випадково занесена сюди повинню на річці Уж.

У цьому ж місті досліджено мохи, які ростуть на штучних і природних кам'янистих субстратах (понад 40 видів). Найбільше різноманіття мохів зареєстровано на кам'яних мурах. Так, на мурах по вул. Капітульній знайдені *Tortula muralis*, *Syntrichia ruralis*, *S. virescens*, *S. papillosa*, *Bryum argenteum*, *B. ruderales*, *Ptychostomum moravicum*, *P. imbricatum*, *Orthotrichum anomalum*, *O. pumilum*, *O. diaphanum*, *Grimmia pulvinata*, *Leskea polycarpa*, *Hypnum cupressiforme*. На мурованій стіні біля біологічного факультету УжНУ ростуть *Schistidium apocarpum* s.l., *Tortula muralis*, *Orthotrichum diaphanum*, *O. anomalum*, *Ceratodon purpureus*, *Bryum argenteum*, *B. dichotomum*, *Syntrichia virescens*. Бетонна стіна в лісопарку Шахта стала притулком для *Schistidium crassipilum*, *Didymodon rigidulus*, *Bryum argenteum*, *Tortula muralis*, *Grimmia pulvinata*. На цементних стінках басейну в ботаніч-

ному саду виявлені гігрофільні *Cratoneuron flicinum*, *Hygroamblystegium varium*, *Rhynchostegium murale*, *Brachythecium rutabulum*. Своєрідний набір мохів спостерігається на природних валунах, що розташовані в масиві Червениця. Крім звичайних видів, тільки тут знайдені ще печіночники *Metzgeria conjugata*, *Plagiochila porelloides*, *Barbilophozia barbata* та мохи *Dicranum viride*, *Paraleucobryum longifolium*, *Grimmia hartmanii*. З метою охорони природних оселищ *Dicranum viride* недавно запропоновано створити лісовий заказник «Червеницький ліс» площею 6 га в околицях міста Ужгорода (Фельбаба-Клушина і Садигов, 2022).

Епігейні мохи м. Ужгорода не вирізняються різноманіттям (23 види). Так, на ґрунті вздовж тротуарів, вулиць, по краях заасфальтованих майданчиків поширені космополітні *Bryum argenteum* і *Ceratodon purpureus*. У сквері Масарика серед трав'яного покриву ростуть *Plagiomnium undulatum*, *Oxyrrhynchium hians*, *Cirriphyllum piliferum*. У масиві Шахта на затінених глинистих відслоненнях відмічені *Fissidens taxifolius*, *Brachytheciastrum velutinum*, *Brachythecium rutabulum*, на освітлених пагорбах – *Plagiomnium affine*, *Thuidium assimile*, *Cirriphyllum piliferum*, *Pseudoscleropodium purum*, а на кострищах – *Funaria hygrometrica*. У Червениці на цьому ж субстраті поселяються лісові види *Atrichum undulatum*, *Polytrichum formosum*, *Dicranella heteromalla*, *Plagiothecium cavifolium*.

Висновки

Таким чином, за результатами оригінальних досліджень і з урахуванням літературних даних у м. Ужгороді встановлено 90 видів мохоподібних, з них 11 видів печіночники і 79 – мохи. Провідні місця в спектрі родин мохів займають *Orthotrichaceae*, *Brachytheciaceae* і *Pottiaceae*. Видове багатство бріофітів спостерігається переважно на стовбурах дерев, а також на природних і штучних кам'янистих субстратах. Як і в м. Берегове, тут трапляється експансивний у Західній Європі епіфіт *Dicranoweisia cirrata*. У масиві Червениця зростає низка епіфітних і епілітних мохоподібних, котрі не виявлені в зелених насадженнях забудованої частини м. Ужгорода. Поряд із поширеними в бріофлорі міста виявлені деякі рідкісні види – *Dicranum viride*, *Bryum ruderales* і *Schistidium crassipilum*.

Список використаної літератури

- Бачурина Г.Ф., Мельничук В.М. Флора мохів України. Київ : Академперіодика, 2003. Вип. 4. 256 с.
- Бойко М.Ф. Червоний список мохоподібних України. Рідкісні та зникаючі види мохоподібних України. Херсон : Айлант, 2010. 94 с.
- Вірченко В.М. Бріофлора міста Берегове (Закарпатська обл., Україна). *Біологія та екологія*. 2021. Т. 7. № 1. С. 31–37.
- Вірченко В.М., Нипорко С.О. Продромус спорових рослин України: мохоподібні. Київ : Наукова думка, 2022. 176 с.
- Вірченко В., Кривцова М., Гасинець Я. Епіфіти в бріофлорі Ужанського НПП та його околиць. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія*. 2023. Вип. 54. С. 33–36.
- Географічна енциклопедія України / О.М. Маринич (відп. ред.). Київ : Українська енциклопедія ім. М.П. Бажана, 1993. Т. 3. 480 с.
- Зеров Д.К., Партика Л.Я. Мохоподібні Українських Карпат. Київ : Наукова думка, 1975. 231 с.
- Улична К.О. Печіночні мохи. *Каталог музейних фондів : збірник наукових праць*. Київ : Наукова думка, 1976. С. 59–73.
- Улична К.О. Листяні мохи. II. *Каталог музейних фондів : збірник наукових праць*. Київ : Наукова думка, 1978. С. 42–92.
- Фельбаба-Клаушина Л.М., Садигов Р.Е. *Dicranum viride* (Sull. & Lesq.) Lindb. (Dicranaceae) у Вулканічних Карпатах (Україна). *Чорноморський ботанічний журнал*. 2022. Т. 18. № 3. С. 287–298.
- Фельбаба-Клаушина Л.М., Вірченко В.М., Садигов Р.Е. Мохоподібні ботанічної пам'ятки природи «Тепла яма» у Вулканічних Карпатах (Україна). *Біологія та екологія*. 2022. Т. 8. № 2. С. 92–105.
- Boros A., Vajda L. Bryoflora Carpathorum Septentrionali-Orientaliorum. *Revue Bryologique et Lichenologique*. 1968–1969. Т. 36. Fasc. 3–4. P. 397–450.
- Fudali E., Zolnierz L. Epiphytic bryophytes in urban forests of Wroclaw (SW Poland). *Biodiversity Research Conservation*. 2019. №. 53. P. 73–83.
- Godovicova K., Misikova K. Epiphytic bryophytes in the urban environment of Bratislava. *Bryonora*. 2017. № 59. P. 44–57.
- 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.

References

- Bachuryna, H.F., & Melnychuk, V.M. (2003). Flora mokhiv Ukrainy [Moss flora of Ukraine]. Kyiv : Akademperiodyka, 4 [in Ukrainian].
- Boiko, M.F. (2010). Chervonyi spysok mokhopodibnykh Ukrainy. Ridkisni ta znykayuchi vydy mokhopodibnykh Ukrainy [Red Data List of bryophytes of Ukraine. Rare and disappeared bryophyte species of Ukraine]. Kherson : Ailant [in Ukrainian].
- Boros, A., Vajda, L. (1968–1969). Bryoflora Carpathorum Septentrionali-Orientaliorum. *Revue Bryologique et Lichenologique*, 36 (3–4), 397–450 [in Latin].
- Felbaba-Klushyna, L.M., Sadygov, R.E. (2022). *Dicranum viride* (Sull. & Lesq.) Lindb. (Dicranaceae) u Vulkanichnykh Karpatakh (Ukraina) [*Dicranum viride* (Sull. & Lesq.) Lindb. (Dicranaceae) within the Volcanic Carpathians (Ukraine)]. *Chornomorskyi botanichnyi zhurnal [Chornomorskyi botanical journal]*, 18 (3), 287–298. <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2022-18-3-5> [in Ukrainian].
- Felbaba-Klushyna, L.M., Virchenko, V.M., Sadygov, R.E. (2022). Mokhopodibni botanichnoi pamjatky pryrody “Tepla jama” [Bryophytes of the nature monument “Tepla jama” within the Volcanic Carpathians (Ukraine)]. *Biologia ta ekologia [Biology & Ecology]*, 8 (2), 92–105. <https://doi.org/10.33989/2022.8.2.285312> [in Ukrainian].
- Fudali, E., Zolnierz, L. (2019). Epiphytic bryophytes in urban forests of Wroclaw (SW Poland). *Biodiversity Research Conservation*, 53, 73–83. <https://doi.org/10.2478/biorc-2019-0005> [in English].

Godovicova, K., Misikova, K. (2017). Epiphytic bryophytes in the urban environment of Bratislava. *Bryonora*, 59, 44–57 [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].

Marynych, O.M. (ed.). (1993). *Heohrafichna entsyclopedia Ukrainy* [Geographical encyclopaedia of Ukraine]. Kyiv : Ukrainska entsyclopedia named after M.P. Bazhan, 3 [in Ukrainian].

Ulychna, K.O. (1976). *Pechinochni mokhy* [Liverworts]. *Kataloh muzeinykh fondiv: zbirnyk naukovykh prats* [Catalogue of museum funds: collection of scientific works]. Kyiv : Naukova dumka, pp. 59–73 [in Ukrainian].

Ulychna, K.O. (1978). *Lystyani mokhy* [Mosses]. *Kataloh muzeinykh fondiv: zbirnyk naukovykh prats. II* [Catalogue of museum funds: collection of scientific works. II]. Kyiv : Naukova dumka, pp. 42–92 [in Ukrainian].

Virchenko, V.M. (2021). Brioflora mista Berehove (Zakarpatska obl., Ukraina) [Bryophyte flora of Berehove town (Transcarpathia, Ukraine)]. *Biologia ta ekologia* [Biology & Ecology], 7 (1), 31–37. <https://doi.org/10.33989/2021.7.1.243424> [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].

Virchenko, V., Kryvtsova, M., Hasynets, Ya. (2023). Epifity v brioflori Uzhanskoho NPP [Epiphytes in the bryoflora of the Uzhanskyi NNP and its environs]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seriya Biologiya*. [Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series Biology], 54, 33–36. <https://doi.org/10.32782/1998-6475.2023.54.33-36> [in Ukrainian].

Zero, D.K. & Partyka, L.Ya. (1975). *Mokhopodibni Ukrainських Karpat* [Bryophytes of the Ukrainian Carpathians]. Kyiv : Naukova dumka [in Ukrainian].

Отримано: 27.01.2025
Прийнято: 11.02.2025



УДК 581.526.323:627.81(477-25)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.3>

ТАКСОНОМІЧНЕ РІЗНОМАНІТТЯ МІКРОФІТОБЕНТОСУ МІЛКОВОДНОЇ ЗОНИ КИЇВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА (УКРАЇНА)

О. А. Давидов¹, Е. Ш. Козійчук²

Розглянуто таксономічне різноманіття мікрофітобентосу мілководної зони Київського водосховища в липні 2021 р.

У мікрофітобентосу у період досліджень ідентифіковано 109 видів (111 ввт) з 56 родів, 35 родин, 24 порядків, 8 класів і 5 відділів.

Встановлено, що таксономічне різноманіття мікрофітобентосу має ряд особливостей, які проявляються на різних щаблях систематичної ієрархії.

На рівні відділів переважали Bacillariophyta (81 ввт) та Cyanobacteria (15 ввт), класів – Bacillariophyceae (75 ввт) та Cyanophyceae (15 ввт), порядків – Naviculales (21 ввт) та Cymbellales (20 ввт), родин – Naviculaceae (15 ввт) та Cymbellaceae (10 ввт), родів – Navicula (11 ввт) та Gomphonema (7 ввт).

Флористичне ядро мікрофітобентосу формували 12 родин, з яких найвищі рангові місця належали Naviculaceae (1-й ранг), Cymbellaceae (2-й ранг) та Gomphonemataceae (3-й ранг). Серед родів переважали Navicula (1-й ранг), Gomphonema (2-й ранг) та Placoneis (3-й ранг).

Коефіцієнт рангової кореляції Кендела для провідних родин змінювався від 0,29 до 0,65 (у середньому $0,51 \pm 0,11$), для провідних родів – від 0,24 до 0,57 (у середньому $0,44 \pm 0,10$).

Встановлено, що найвищий ступінь подібності флористичної структури мікрофітобентосу на рівні як родин, так і родів притаманний угрупованням водоростей на станціях, де тепліші умови схожі, донні ґрунти однотипні та представлені слабо замуленим піском, площі заростання мілководь вищою водяною рослинністю з домінуванням видів роду Potamogeton (L.) – співставні, а інтенсивність гідродинамічних процесів – помірні.

Ключові слова: мікрофітобентос, таксономічне різноманіття, систематична ієрархія, Київське водосховище.

¹ кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник,
старший науковий співробітник
(Інститут гідробіології НАН України, м. Київ)
e-mail: davydovoleg01@gmail.com
ORCID: 0009-0004-2381-723X

² кандидат біологічних наук, молодший науковий співробітник
(Інститут гідробіології НАН України, м. Київ)
e-mail: elina.kozyichuk@gmail.com
ORCID: 0009-0002-5762-938X

TAXONOMIC DIVERSITY OF MICROPHYTOBENTHOS IN THE SHALLOW WATER ZONE OF THE KYIV RESERVOIR (UKRAINE)

O. A. Davydov, E. Sh. Koziychuk

The paper deals with the taxonomic diversity of microphytobenthos in the shallow water area of Kyiv Reservoir in July 2021.

109 species (111 infraspecific taxa – IST) from 56 genera, 35 families, 24 orders, 8 classes and 5 phyla were identified in microphytobenthos in the period under study.

The taxonomic diversity of microphytobenthos is distinguished by several specific features, which are evident at different levels of taxonomic hierarchy.

At the phylum level Bacillariophyta (81 IST) and Cyanobacteria (15 IST) dominated, at the class level – Bacillariophyceae (75 IST) and Cyanophyceae (15 IST), at the order level – Naviculales (21 IST) and Cymbellales (20 IST), at the family level – Naviculaceae (15 IST) and Cymbellaceae (10 IST), at the genus level – Navicula (11 IST) and Gomphonema (7 IST).

The floristic nucleus of microphytobenthos was formed by 12 families, where the highest ranks were occupied by Naviculaceae (1st rank), Cymbellaceae (2nd rank) and Gomphonemataceae (3rd rank). Navicula (1st rank), Gomphonema (2nd rank) and Placoneis (3rd rank) prevailed among genera.

The Kendall rank correlation coefficient for the leading families varied within 0.29–0.65 (0.51 ± 0.11 at an average), for leading genera – 0.24–0.57 (0.44 ± 0.10 at an average).

The highest similarity of floristic structure, both at the level of families and at the level of genera, was observed for communities in the sampling sites with similar habitat conditions, bottom deposits represented by slightly silted sand, comparable areas of aquatic vegetation with Potamogeton (L.) prevailing, and moderately intensive hydrodynamic processes.

Key words: microphytobenthos, taxonomic diversity, systematic hierarchy, Kyiv Reservoir.

Вступ

Мікрофітобентос – важливий компонент біологічного різноманіття водних екосистем України. Дослідження його структурно-функціональних характеристик є актуальним не тільки у фундаментальному аспекті, під час вивчення просторової динаміки альгоутгруповань в контексті теорії метаутгруповань (Юришинець та ін., 2024), а й у прикладному, зокрема, для оцінки екологічного стану (потенціалу) водних екосистем (Oksiyuk & Davydov, 2006); його структурні елементи (кількість видів, родин і чисельність Bacillariophyta) залучені до переліку гідробіологічних показників для здійснення державного моніторингу масивів поверхневих вод (Afanasyev, 2019).

Від часу останніх досліджень мікрофітобентосу Київського водосховища, які охоплювали період з 1965 по 1984 рр., коли вивчався його видовий склад і були представлені деякі відомості стосовно таксономічного різноманіття, минуло понад чотири десятиліття (Давидов і Козійчук, 2024). Наразі на тлі процесів стабілізації екосистеми водосховища в умовах кліматичних змін (Романенко..., 2019) постала потреба в продовженні детального вивчення таксономічного різноманіття мікрофітобентосу мілководної зони Київського водосховища

(з огляду на те, що мілководдя займають майже половину всієї його площі).

Мета роботи – охарактеризувати таксономічне різноманіття на вищих щаблях ієрархії (від відділу до роду) мікрофітобентосу мілководної зони Київського водосховища та встановити його особливості.

Матеріал і методи

Матеріалом слугували результати досліджень мікрофітобентосу мілководної зони Київського водосховища в липні 2021 р. на 6 станціях, які були визначені в районі с. Страхолісся, о. Хільча, с. Сухолуччя, с. Ровжі, с. Глібівка та с. Козаровичі. Географічні координати станцій відбору проб (у системі GPS) наведені в попередній публікації авторів (Давидов і Козійчук, 2024).

Проби мікрофітобентосу відбирали мікробентометром МБ - ТЄ у трьох повторностях із загальної площі близько 40 см² на глибині 0,5 м, у місцях, вільних від заростей вищої водної рослинності. Донні ґрунти були представлені промитим і слабо замуленим піском. Камеральна обробка проб проводилася за загальноприйнятою методикою (Методи..., 2006). Для визначення діатомових водоростей виготовляли постійні препарати (Гопачевський і Оксіюк, 1960) з використанням синтетичної діатомової смоли Naphrax фірми Brunel Microscopes Ltd

(Велика Британія) з індексом заломлення світла 1,74.

Результати дослідження таксономічного різноманіття мікрофітобентосу представлені в послідовності, яка широко застосовувалася під час вивчення водоростей різних екологічних груп у різнотипних водних об'єктах України (Щербак та ін., 2022, 2023, 2024; Щербак і Семенюк, 2023; Давидов та ін., 2024). Систематична номенклатура водоростей наведена відповідно до міжнародної альгологічної бази Algae Base станом на 2023 р. (Guiry & Guiry, 2023).

Для характеристики таксономічного різноманіття мікрофітобентосу частково залучені опубліковані авторами дані із загальної кількості видів (внутрішньовидових таксонів) мікрофітобентосу (Давидов і Козійчук, 2024).

Аналіз подібності флористичної структури мікрофітобентосу на рівні родів і родин виконано з використанням коефіцієнта рангової кореляції Кендела (Kendall, 1955).

Оригінальні матеріали опрацьовували за допомогою програм Microsoft Office Excel 2010 та Past 1.32.

Результати

У мікрофітобентосі мілководної зони Київського водосховища для виявлених 109 видів із 5 відділів, які представлені 111 внутрішньовидовими таксонами (ввт)

(включно з номенклатурним типом виду) встановлено їх приналежність до 56 родів, 35 родин, 24 порядків, 8 класів та п'яти відділів.

На рівні відділів у мікрофітобентосі переважали Bacillariophyta – 81 ввт (73%), меншою кількістю таксонів були представлені Cyanobacteria – 15 ввт (14%) та Chlorophyta – 13 ввт (12%). Інші відділи – Euglenozoa та Charophyta – налічували лише по 1 ввт (по 1% відповідно) (Давидов і Козійчук, 2024) (табл. 1).

На рівні класів найбільш різноманітно були представлені Bacillariophyceae (75 ввт) та Cyanophyceae (15 ввт), на рівні порядків – Naviculales (21 ввт) та Cymbellales (20 ввт), родин – Naviculaceae (15 ввт) та Cymbellaceae (10 ввт), на рівні родів – *Navicula* (11 ввт), *Gomphonema* (7 ввт), *Placoneis* (5 ввт) (табл. 2).

Встановлено, що таксономічне різноманіття мікрофітобентосу на станціях, на яких проводилися дослідження, має специфічні особливості, що проявляються на різних щаблях систематичної ієрархії – від відділу до роду.

На рівні відділів Bacillariophyta переважали біля с. Сухолюб'я та с. Ровжі (по 43 ввт), найменше їх виявлено біля с. Козаровичі (26 ввт) та с. Глібівка (28 ввт); Cyanobacteria найрізноманітніше пред-

Таблиця 1

Видове багатство мікрофітобентосу мілководної зони Київського водосховища, липень 2021 р. (Давидов і Козійчук, 2024)

Відділи	с. Страховіся	о. Хільча	с. Сухолюб'я	с. Ровжі	с. Глібівка	с. Козаровичі	Усього
Cyanobacteria	$\frac{4}{9}$	$\frac{8}{16}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{4}{7}$	$\frac{6}{17}$	$\frac{4}{11}$	$\frac{15}{14}$
Euglenozoa	–	–	$\frac{1}{2}$	–	–	–	$\frac{1}{1}$
Bacillariophyta	$\frac{39}{87}$	$\frac{38}{78}$	$\frac{43}{84}$	$\frac{42(43)}{78}$	$\frac{28}{80}$	$\frac{26}{74}$	$\frac{79(81)}{73}$
Chlorophyta	$\frac{2}{4}$	$\frac{3}{6}$	$\frac{3}{6}$	$\frac{7}{13}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{5}{14}$	$\frac{13}{12}$
Charophyta	–	–	–	$\frac{1}{2}$	–	–	$\frac{1}{1}$
Усього	$\frac{45}{100}$	$\frac{49}{100}$	$\frac{51}{100}$	$\frac{54(55)}{100}$	$\frac{35}{100}$	$\frac{35}{100}$	$\frac{109(111)}{100}$

Примітка. Над рискою кількість видових і внутрішньовидових таксонів, під рискою – те саме у відсотках; «–» – представників цього відділу не виявлено.

Таблиця 2
Таксономічне різноманіття мікрофітобентосу мілководної зони Київського водосховища, липень 2021 р.

Відділ	Клас	Порядок	село Страхолисія			острів Хіляча			село Сухолучча			село Ровжі			село Глібівка			село Козаровичі			Усього		
			родини	роди	види (ввг*)	родини	роди	види (ввг*)	родини	роди	види (ввг*)	родини	роди	види (ввг*)	родини	роди	види (ввг*)	родини	роди	види (ввг*)	родини	роди	види (ввг*)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Pseudanabaenales	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1
		Leptolyngbyales	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	1	1	2	-	-	-	1	1	3
		Oscillatoriales	-	-	-	1	2	3	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	1	2	3
		Chroococcales	-	-	-	1	2	3	1	1	2	1	2	3	1	2	2	1	2	3	1	4	5
		Nostocales	1	2	2	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3
Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae	Melosirales	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	1	1	1
		Aulacoseirales	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3
		Thalassiosirales	1	1	1	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Mediophyceae	Stephanodiscals	1	1	1	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		Fragilariales	2	4	5	2	5	6	2	5	7	2	3	5	2	4	5	1	2	5	2	6	9
		Rhabdonematales	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	1	1	1
	Bacillariophyceae	Licmophorales	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2
		Mastogloiales	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		Cymbellales	2	4	8	3	7	13	3	6	10	3	6	10	2	4	5	2	2	2	3	7	20
		Achnanthales	2	3	5	2	3	5	2	3	6	2	3	7	2	3	5	2	2	6	2	3	10
		Naviculales	3	4	8	3	3	5	2	3	7	2	3	7	1	2	6	1	1	3	5	7	21
		Thalassiosiphysales	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	3
		Bacillariales	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	-	-	-	1	1	1	1	1	4
		Rhopalodiales	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2
		Surirellales	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2
Charophyta	Zygnematomphycaceae	Desmidiaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	1	1	1
Chlorophyta	Trebouxioiophycaceae	Chlorellales	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	3	3
	Chlorophyceae	Sphaeropleales	1	2	2	2	2	3	2	3	3	2	4	5	-	-	-	3	3	3	4	7	10
Euglenozoa	Euglenophycaceae	Euglenales	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1

Примітка. «*» – враховуючи номенклатурний тип виду.

ставлені біля о. Хільча (8 ввт) та с. Глібівка (6 ввт), найменші показники (по 4 ввт) відмічені на інших чотирьох станціях. Варто зазначити, що Chlorophyta вирізнялися більш нерівномірним розподілом на дні мілководь, зокрема, найрізноманітніше вони представлені біля с. Ровжі (7 ввт), тоді як біля с. Глібівка відмічено лише один ввт.

На рівні класів Bacillariophyceae найрізноманітніше представлені біля с. Ровжі (38 ввт) та о. Хільча (36 ввт), поблизу якого й Cynophyceae також вирізнялися найбільшими показниками (8 ввт). Значно менше Bacillariophyceae відмічено біля с. Козаровичі (23 ввт) та с. Глібівка (25 ввт), тоді як Cynophyceae у рівній кількості зустрічалися на всіх інших станціях (по 4 ввт), окрім с. Глібівка (6 ввт).

На рівні порядків Naviculales переважали біля с. Страхолісся (8 ввт) та с. Сухолуччя (7 ввт); Cymbellales – біля о. Хільча (13 ввт) та с. Ровжі (10 ввт). Найменші показники різноманіття серед Cymbellales та Naviculales відмічені біля с. Козаровичі (2 та 3 ввт) відповідно.

Флористичне ядро мікрофітобентосу формували 12 родин, з яких найвищі ран-

гові місця належали Naviculaceae – 15 ввт (1-й ранг), Cymbellaceae – 10 ввт (2-й ранг) та Gomphonemataceae – 9 ввт (3-й ранг) (табл. 3).

Ступінь подібності флористичної структури мікрофітобентосу на рівні родин за коефіцієнтом рангової кореляції Кендела (τ) становив від 0,29 до 0,65 (у середньому $0,51 \pm 0,11$). Найбільша подібність виявлена між станціями біля с. Ровжі та с. Козаровичі. Найменша – між с. Козаровичі та о. Хільча.

Серед провідних родів найвищі рангові місця посідали *Navicula* – 11 ввт (1-й ранг), *Gomphonema* – 7 ввт (2-й ранг) та *Placoneis* – 5 ввт (3-й ранг) (табл. 4).

Коефіцієнт Кендела (τ) для провідних родів коливався у межах від 0,24 до 0,57 (у середньому $0,44 \pm 0,10$).

Встановлено, що найбільший ступінь подібності флористичної структури мікрофітобентосу на рівні як родин, так і родів притаманний угрупуванням водоростей на станціях, що досить схожі за топічними умовами: зокрема, донні ґрунти представлені одним типом – слабко замуленим піском; відносно співставними площами заростання мілководь вищою водною рос-

Таблиця 3
Провідні родини мікрофітобентосу мілководної зони Київського водосховища,
липень 2021 р.

Родини	с. Страхо- лісся		о. Хільча		с. Сухо- луччя		с. Ровжі		с. Глібівка		с. Коза- ровичі		Усього	
	кількість ввт	ранг	кількість ввт	ранг	кількість ввт	ранг	кількість ввт	ранг	кількість ввт	ранг	кількість ввт	ранг	кількість ввт	ранг
Naviculaceae	6	1	3	6	6	1,5	6	2	6	1	3	3,5	15	1
Cymbellaceae	5	2	7	1	5	3	8	1	3	3,5	1	*	10	2
Gomphonemataceae	3	5	5	2	4	4	1	*	2	6,5	–	–	9	3
Staurosiraceae	4	3,5	4	3,5	6	1,5	4	4	4	2	5	1	7	4
Achnanthidiaceae	4	3,5	4	3,5	3	5,5	3	6,5	3	3,5	3	3,5	6	5,5
Scenedesmaceae	2	8	2	9	2	9	4	4	–	–	1	*	6	5,5
Microcystaceae	–	–	3	6	2	9	3	6,5	2	6,5	3	3,5	5	7
Cocconeidaceae	1	*	1	*	3	5,5	4	4	2	6,5	3	3,5	4	8,5
Catenulaceae	2	8	2	9	2	9	2	10	1	*	2	7	3	*
Chlorellaceae	–	–	–	–	–	–	2	10	1	*	2	7	3	*
Leptolyngbyaceae	1	*	1	*	1	*	–	–	2	6,5	–	–	3	*
Oscillatoriaceae	–	–	3	6	–	–	–	–	1	*	–	–	3	*

Примітка. Жирним шрифтом позначено родини, які посідають перші рангові місця;
«*» – рангове місце цієї родини – після 10-го, «–» – представників цієї родини не виявлено.

Таблиця 4

Провідні роди мікрофітобентосу мілководної зони Київського водосховища,
липень 2021 р.

Роди	с. Страхо- лісся		о. Хільча		с. Сухо- луччя		с. Ровжі		с. Глібівка		с. Коза- ровичі		Усього	
	кількість ввт	ранг	кількість ввт	ранг	кількість ввт	ранг	кількість ввт	ранг	кількість ввт	ранг	кількість ввт	ранг	кількість ввт	ранг
Navicula	4	1	3	2,5	4	1	5	1,5	5	1	3	2,5	11	1
Gomphonema	2	7	3	2,5	2	8,5	–	–	1	*	–	–	7	2
Placoneis	3	2,5	3	2,5	3	3	5	1,5	2	4	1	*	5	3
Cocconeis	1	*	1	*	3	3	4	3	2	4	3	2,5	4	5,5
Planothidium	3	2,5	3	2,5	2	8,5	2	8	2	4	3	2,5	4	5,5
Nitzschia	1	*	1	*	2	8,5	2	8	–	–	1	*	4	5,5
Desmodesmus	1	*	2	8	1	*	2	8	–	–	1	*	4	5,5
Staurosira	2	7	2	8	3	3	2	8	2	4	3	2,5	3	*
Amphora	2	7	2	8	2	8,5	2	8	1	*	2	6,5	3	*
Aulacoseira	2	7	1	*	2	8,5	2	8	1	*	1	*	3	*
Leptolyngbya	1	*	1	*	1	*	–	–	2	4	–	–	3	*
Cymbella	2	7	2	8	–	–	1	*	1	*	–	–	3	*
Hippodonta	2	7	–	–	2	8,5	–	–	1	*	–	–	3	*

Примітка. Жирним шрифтом позначено роди, які посідають перші рангові місця;

«*» – рангове місце цього роду – після 10-го, «–» – представників цього роду не виявлено.

линністю та вегетацією на них переважно представників роду *Potamogeton* (L.).

Натомість найбільша відмінність на рівні як провідних родин, так і родів мікрофітобентосу відмічена під час порівняння угруповань на вищезгаданих станціях і на станції біля о. Хільча, де донні ґрунти представлені промитим піском, вища водяна рослинність на мілководді значно менша за площею заростання, а гідродинамічні процеси більш інтенсивні внаслідок вітро-хвильової активності на відкритій акваторії поблизу острова.

Таким чином, наведені дані вказують на високе таксономічне різноманіття мікрофітобентосу на різних щаблях систематичної ієрархії (від відділу до роду). При цьому найбільшою подібністю на рівні як родин, так і родів характеризується мікрофітобентос на станціях зі схожими топічними умовами.

Висновки

Встановлено, що таксономічне різноманіття мікрофітобентосу в мілководній зоні Київського водосховища в липні 2021 р.

було представлено водоростями з 5 відділів, 8 класів, 24 порядків, 35 родин, 56 родів та 109 видами (111 ввт).

На рівні відділів у мікрофітобентосі переважали Bacillariophyta та Cyanobacteria, класів – Bacillariophyceae та Cyanophyceae, родин – Naviculaceae та Cymbellaceae, родів – *Navicula* та *Gomphonema*.

Флористичне ядро мікрофітобентосу формували 12 родин, з яких найвищі рангові місця належали Naviculaceae, Cymbellaceae та Gomphonemataceae. Серед провідних родів найвищі рангові місця посідали *Navicula*, *Gomphonema* та *Placoneis*.

Найбільший ступінь подібності флористичної структури мікрофітобентосу на рівні як родин ($\tau = 0,65$), так і родів ($\tau = 0,56$) відмічено на станціях зі схожими топічними, найнижчий ($\tau = 0,29$ та $0,24$ відповідно) між угрупованнями на станціях, які відрізняються за типом донних ґрунтів, площею заростання літоралі вищою водяною рослинністю та різною інтенсивністю гідродинамічних процесів у мілководній зоні.

Список використаної літератури

- Давидов О.А., Козійчук Е.Ш. Особливості формування донних альгоутгруповань Київського водосховища (Україна). *Гідробіологічний журнал*. 2024. № 60 (4). С. 23–34.
- Давидов О.А., Щербак В.І., Семенюк Н.Є., Козійчук Е.Ш. Таксономічний склад фітопланктону різнотипних континентальних гідроекосистем України. *Альгологія*. 2024. № 34 (4). С. 273–293. <https://doi.org/10.15407/alg34.04>.
- Романенко В.Д. Біорізноманіття та біоресурсний потенціал екосистем Дніпровських водосховищ в умовах кліматичних змін і розвитку біологічної інвазії. Київ : Наук. думка, 2019. 256 с.
- Романенко В.Д. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод. Київ : ЛОГОС, 2006. 408 с.
- Топачевський О.В., Оксіюк О.П. Діатомові водорості – Bacillariophyta. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Київ : Наук. думка, 1960. № 9. 411 с.
- Щербак В.І., Семенюк Н.Є. Структурно-функціональна характеристика фітопланктону, дерновин-подушок, детриту та якості води за дії основних абіотичних чинників ставків міської агломерації (смт Гостомель, Бучанський р-н Київської обл., Україна). Повідомлення І. Видове, таксономічне, екологічне різноманіття фітопланктону та характеристика дерновин-подушок за основних абіотичних складових ставків. *Альгологія*. 2023. № 33 (1). С. 22–47. <https://doi.org/10.15407/alg33.01.022>.
- Щербак В.І., Семенюк Н.Є., Давидов О.А., Козійчук Е.Ш. Планктонні й контурні угруповання водоростей української ділянки р. Західний Буг та її допливів. Повідомлення 1. Абіотичні складові, таксономічна й екологічна характеристики та флористичні особливості фітопланктону, мікрофітобентосу, фітоперифітону. *Альгологія*. 2024. № 34 (2). С. 130–159. <https://doi.org/10.15407/alg34.02.130>.
- Щербак В.І., Семенюк Н.Є., Давидов О.А., Ларіонова Д.П. Сучасна характеристика фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоепіфітону Канівського водосховища. Повідомлення 1. Таксономічне, екологічне різноманіття та просторовий розподіл. *Альгологія*. 2023. № 33 (3). С. 147–184. <https://doi.org/10.15407/alg33.03.147>.
- Щербак В.І., Семенюк Н.Є., Луценко Д.А. Різноманіття та екологічні характеристики водоростей водної товщі суббасейну крупних придунайських озер в осінньо-зимовий період (Україна). *Альгологія*. 2022. № 32 (3). С. 183–206. <https://doi.org/10.15407/alg32.03.183>.
- Юришинець В.І., Семенюк Н.Є., Щербак В.І., Давидов О.А., Козійчук Е.Ш., Шелюк Ю.С. Деякі актуальні проблеми застосування теорії метаугруповань при комплексному вивченні фітопланктону, мікрофітобентосу, фітоперифітону континентальних водних екосистем. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 9. С. 56–73. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.6>.
- Afanasiev S.O. Problems and progress of investigations of hydroecosystems' ecological state in view of implementation of EU environmental directives in Ukraine. *Hydrobiol. Journal*. 2019. Vol. 55. № 2. P. 3–17.
- Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway, 2023 [Електронний ресурс]. URL: <http://www.algaebase.org> (дата звернення 11.12.2023).
- Kendall M.G. Rank correlation methods. London : Griffin, 1955. 196 p.
- Oksiyuk O.P., Davydov O.A. Principles of methods of the assessment of the ecological status of water bodies using microphytobenthos. *Hydrobiol. Journal*. 2006. Vol. 42. № 4. P. 94–106.

References

- Davydov, O.A., & Koziihchuk, E.Sh. (2024). Osoblyvosti formuvannia donnykh alhouhrupovan Kyivskoho vodoskhovyshcha (Ukraine) [Bottom algal communities development patterns in Kyiv Reservoir (Ukraine)]. *Hidrobiolohichniy zhurnal [Hydrobiological Journal]*, 60 (4), 23–34 [in Ukrainian].
- Davydov, O.A., Shherbak, V.I., Semenjuk, N.Je., & Kozijchuk, E.Sh. (2024). Taksonomichnyj sklad fitoplanktonu riznotypnykh kontynentalnykh ghidroekosystem Ukrajinu [Taxonomic composition of phytoplankton in various continental aquatic ecosystems of Ukraine]. *Alholohiia [Algologia]*, 34 (4), 273–293. <https://doi.org/10.15407/alg34.04> [in Ukrainian].
- Romanenko, V.D. (2019). Bioriznomanittja ta bioresursnyj potencial ekosystem Dniprovskykh vodoskhovyshh v umovakh klimatychnykh zmin i rozvytku biologichnoji invaziji [Biodiversity and bioresource potential of the Dnieper water reservoirs' ecosystems under conditions of climate change and biological invasion]. Kyiv : Naukova dumka [in Ukrainian].

Romanenko, V.D. (2006). *Metody hidroekologichnykh doslidzhen poverkhnevyykh vod* [Methods of hydroecological research of surface waters]. Kyiv : LOHOS [in Ukrainian].

Topachevskiy, O.V., & Oksiiuk, O.P. (1960). *Diatomovi vodorosti – Bacillariophyta* [Diatoms – Bacillariophyt]. *Vyznachnyk prysnovodnykh vodorostei Ukrainskoi RSR* [Identification guide on freshwater algae of Ukrainian SSR]. Kyiv : Naukova dumka, 9, 411 [in Ukrainian].

Shherbak, V.I., & Semenjuk, N.Je. (2023). *Strukturno-funkcionalna kharakterystyka fitoplanktonu, dnovyn–podushok, detrytu ta yakistj vody za diji osnovnykh abiotychnykh chynnykiv stavkiv misjkoji aghlomeraciji (smt Ghostomel, Buchanskyj r-n Kyjivskoj obl., Ukrajinu). Povidomlennja I. Vydove, taksonomichne, ekologichne riznomanittja fitoplanktonu ta kharakterystyka dnovyn–podushok za osnovnykh abiotychnykh skladovykh stavkiv* [Structural and functional characteristics of phytoplankton, filamentous algal mats, detritus and water quality under main abiotic factors in urban ponds (case study of urban settlement Hostomel, Bucha district, Kyiv Region, Ukraine). Report I. Species and taxonomic composition, ecological diversity of phytoplankton and filamentous algal mats characteristics under main abiotic factors]. *Alholohiia [Algologia]*, 33 (1), 22–47. <https://doi.org/10.15407/alg33.01.022> [in Ukrainian].

Shherbak, V.I., Semenjuk, N.Je., Davydov, O.A., & Kozijchuk, E.Sh. (2024). *Planktonni j konturni ughrupovannja vodorostej ukrajinsjkoji diljanky r. Zakhidnyj Bugh ta jiji doplyviv. Povidomlennja I. Abiotychni skladovi, taksonomichna j ekologichna kharakterystyka ta florystychni osoblyvosti fitoplanktonu, mikrofitobentosu, fitoperyfitonu* [Plankton and contour algal communities in the ukrainian section of the Western Bug River and its tributaries. Report 1. Abiotic variables, taxonomic, ecological characteristics and floristics specifics of phytoplankton, microphytobenthos, phytoperiphyton]. *Alholohiia [Algologia]*, 34 (2), 130–159. <https://doi.org/10.15407/alg34.02.130> [in Ukrainian].

Shcherbak, V.I., Semeniuk, N.Ye., Davydov, O.A., & Larionova, D.P. (2023). *Suchasna kharakterystyka fitoplanktonu, mikrofitobentosu ta fitoepifitonu Kanivskoho vodoskhovyscha. Povidomlennja I. Taksonomichne, ekologichne riznomanittja ta prostоровi rozpodil* [Present-day characteristics of phytoplankton, microphytobenthos and phytoepiphyton of the Kaniv reservoir. Report 1. Taxonomic, ecological diversity and spatial pattern]. *Alholohiia [Algologia]*, 33 (3), 147–184. <https://doi.org/10.15407/alg33.03.147> [in Ukrainian].

Shcherbak, V.I., Semenjuk, N.Je., & Lucenko, D.A. (2022). *Riznomanittja ta ekologichni kharakterystyka vodorostej vodnoji tovshhi subbasejnu krupnykh prydunajskykh ozer v osinnjo-zymovij period (Ukrajinu)* [Diversity and ecological characteristics of algae in the water column of the large lakes of Danubian subbasin (Ukraine) in autumn–winter season]. *Alholohiia [Algologia]*, 32 (3), 183–206. <https://doi.org/10.15407/alg32.03.183> [in Ukrainian].

Juryshynecj, V.I., Semenjuk, N.Je., Shherbak, V.I., Davydov, O.A., Kozijchuk, E.Sh., & Sheljuk, Ju.S. (2024). *Dejaki aktualjni problemy zastosuvannja teorii metaughrupovanj pry kompleksnomu vyvchenni fitoplanktonu, mikrofitobentosu, fitoperyfitonu kontynentalnykh vodnykh ekosystem* [Some issues and challenges of applying metacommunity theory in complex studies of phytoplankton, phytobenthos and phytoperiphyton of continental aquatic ecosystems]. *Ukrajinskyj zhurnal pryrodnychych nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 9, 56–73. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.6> [in Ukrainian].

Afanasyev, S.O. (2019). Problems and progress of investigations of hydroecosystems' ecological state in view of implementation of EU environmental directives in Ukraine. *Hydrobiological Journal*, 55 (2), 3–17 [in English].

Guiry, M.D., & Guiry, G.M. (2023). *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. [Electronic resource] URL: <http://www.algaebase.org> (access date 11.12.2023) [in English].

Kendall, M.G. (1955) Rank correlation methods. London: Griffin [in English].

Oksiyuk, O.P., & Davydov, O.A. (2006). Principles of methods of the assessment of the ecological status of water bodies using microphytobenthos. *Hydrobiological Journal*, 42 (4), 94–106 [in English].

Отримано: 31.01.2025

Прийнято: 17.02.2025



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 11
Український журнал природничих наук
№ 11

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

УДК 556. 532 (477-924-52)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.4>

ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНА ОЦІНКА СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ЖУРАВЛІВСЬКОГО ГІДРОПАРКУ

О. М. Крайнюков¹, І. А. Кривицька², О. Є. Найдьонова³

Найбільш ефективним біологічним методом оцінювання можливої небезпеки тих чи тих джерел забруднення для водної флори та фауни є біотестування – експериментальне визначення токсичності води для гідробіонтів, засноване на реєстрації реакцій тест-об'єктів, за допомогою якого можна встановити токсичну дію забрудненої води. Метою роботи були еколого-токсикологічні дослідження якості води Журавлівського гідропарку, які піддаються впливу урбосистеми великого міста. Відбір зразків поверхневих вод із Журавлівської водойми було здійснено влітку та восени 2024 року. Зразки відбирались у 4 створах із річки Харків. У роботі для визначення хронічної токсичності води з річки Харків було використано методику біотестування з визначення хронічної токсичності води на ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg, яка ґрунтується на встановленні різниці між виживаністю і (або) плодючістю *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg у воді, що аналізується, і у воді, де *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg культивуються.

У результаті проведених еколого-токсикологічних досліджень влітку 2024 року токсичні властивості було визначено в усіх зразках поверхневих вод, які було відібрано із Журавлівської водойми у створах Квітучого моста; вулиці Нескорених (міст); плавбази Клубу моряків; Журавлівської греблі).

Улітку 2024 року у створах Квітучого моста; вулиці Нескорених (міст); плавбази Клубу моряків; було визначено 2 клас якості води – вода слабо забруднена, а у створі Журавлівська гребля – 3 клас якості води (вода помірно забруднена).

¹ доктор географічних наук, професор,
професор кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти
(Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків)
e-mail: alkraynukov@gmail.com
ORCID:0000-0002-5264-3118

² кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти
(Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків)
e-mail: ivkrivicka@gmail.com
ORCID:0000-0003-4727-794X

³ кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник,
в.о. завідувача сектору мікробіології ґрунтів
(Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»,
м. Харків)
e-mail: naydyonova@ukr.net
ORCID: 0000-0002-8568-5699

Восени 2024 року у створі Квітучого моста було визначено 2 клас якості води – вода слабо забруднена; у створах вулиці Нескорених (міст), плавбази Клубу моряків було визначено 3 клас якості води – вода помірно забруднена; у створі Журавлівської греблі – 4 клас якості води (вода брудна). Результати біотестування дозволяють установлювати токсичні властивості вод поза зв'язком із конкретними речовинами, оскільки невідомо, яка саме речовина справила токсичний ефект. Отже, біотестування дозволяє визначити інтегральну токсичність, зумовлену сукупністю всіх наявних у пробі небезпечних хімічних речовин і їх метаболітів.

Ключові слова: забруднення, біотестування, поверхневий водний об'єкт, тест-об'єкт, хронічна токсичність, інтегральна оцінка.

ECOLOGICAL AND TOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF THE STATE OF SURFACE WATERS OF THE ZHURAVLIVSKY HYDROPARK

O. M. Krainiukov, I. A. Kryvytska, O. E. Naidonova

*The most effective biological method for assessing the possible danger of certain sources of pollution for aquatic flora and fauna is biotesting – an experimental determination of the toxicity of water for hydrobionts, based on recording the reactions of test objects, which can be used to establish the toxic effect of polluted water. The purpose of the work was ecological and toxicological studies of the water quality of the Zhuravlivskyi hydropark, which are under the influence of the urban system of a large city. Sampling of surface water samples from the Zhuravlivska reservoir was carried out in the summer and autumn of 2024. Samples were taken in 4 sections from the river. Kharkiv. In the work, to determine the chronic toxicity of water from the Kharkiv River, a biotesting technique was used to determine the chronic toxicity of water on the crustacean *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg, which is based on establishing the difference between the survival and (or) fertility of *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg in the water being analyzed and in the water in which *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg are cultivated. As a result of ecological and toxicological studies carried out in the summer of 2024, toxic properties were determined in all surface water samples that were taken from the Zhuravlivskaya reservoir in the vicinity of Kvituchy Bridge; St. Unconquered, cities; swimming pool of the sailors' club; Zhuravlivska dam.*

In the summer of 2024 the Flowering Bridge is in the works; St. Unconquered, cities; the floating base of the sailors' club was determined to be of the 2nd water quality class – the water is slightly polluted, and in the Zhuravlivska dam, the 3rd water quality class – the water is moderately polluted. In the autumn of 2024, the Kvituchy bridge area was assigned the 2nd water quality class – the water is slightly polluted; in the creations of st. Unconquered, the city and the floating base of the sailors' club were determined to be of the 3rd water quality class – the water is moderately polluted, and in the Zhuravlivska dam – the 4th water quality class (dirty water).

The results of biotesting make it possible to establish the toxic properties of water without connection with specific substances, since it is not known which substance caused the toxic effect. Thus, biotesting allows you to determine the integral toxicity due to the totality of all hazardous chemicals and their metabolites present in the sample.

Key words: pollution, biotesting, surface water body, test object, chronic toxicity, integrated assessment.

Вступ

У виявленні антропогенного забруднення середовища поряд із фізико-хімічними методами застосовуються прийоми, що базуються на оцінюванні стану окремих організмів, які можуть піддаватися впливу забрудненого середовища, а також їхніх органів, тканин і клітин. Їх застосування зумовлено технічною складністю й обмеженістю інформації, яку можуть надавати фізико-хімічні методи. Окрім того, фізико-хімічні методи можуть виявитися неефективними через не досить високу їх чутли-

вість і достовірність отриманих результатів. Живі організми здатні сприймати більш низькі концентрації хімічних речовин, ніж будь-який аналітичний датчик, у зв'язку із чим біота може реєструвати токсичні впливи, що не будуть визначені технічними засобами.

Водні екосистеми стикаються із широким спектром забруднень, як-от метали, вуглеводні, миючі засоби, пестициди та фармацевтичні сполуки. Окрім того, на ринок регулярно надходять нові потенційно токсичні речовини, але знання про сту-

пінь забруднення цими речовинами та їхні наслідки залишаються обмеженими (Reid et al., 2019). У Європі мета Водної рамкової директиви (далі – ВРД), ухваленої членами Європейського Союзу у 2000 р., полягає в тому, щоб водні тіла досягли та підтримували добрий екологічний і хімічний стан. Щоб досягти цього, необхідно відстежувати та контролювати забруднення середовища водних об'єктів. Оцінювання такого забруднення здійснюється шляхом створення переліку речовин, які підлягають моніторингу у воді, біоті чи осадах. Хімічний аналіз може надати цінну інформацію про забруднювачі, присутні у водних системах. Однак через їх велику кількість, іноді низьку концентрацію та той факт, що багато з них невідомі, поточні можливості й ефективність хімічних аналізів залишаються обмеженими (Brack et al., 2016). У статті (Persson et al., 2022) підкреслюється, що збільшення викидів і синтезу нових хімічних сполук перевершує поточні можливості щодо проведення моніторингу й оцінювання їхнього негативного впливу, залишається значна прогалина в наших знаннях про присутність і вплив цих речовин на екосистеми. Наявні методи тестування необхідно вдосконалювати та розробляти нові для більш ретельного моніторингу цих речовин, їхніх токсичних властивостей для водних організмів, оскільки водні системи значно потерпають від забруднюючих речовин (Brack et al., 2016).

Нагальна необхідність вирішення цієї екологічної проблеми привела до дослідження інноваційних підходів, зокрема й інтеграції біомоніторингу в інструменти управління навколишнім середовищем. Біомоніторинг можна визначити як використання живих організмів для дослідження якості води для оцінювання часових або просторових змін у забрудненні та токсичності стічних вод і водойм, що їх приймають (Wepener, 2013). Використання живих тестових організмів дає змогу об'єднати різноманітність біодступних забруднювачів, присутніх у навколишньому середовищі, з оцінюванням їхньої токсичності (Crane et al., 2007; Besse et al., 2012).

Незаперечним є той факт, що десятки й сотні забруднюючих речовин із несприятливими біологічними ефектами виявляються у зворотних водах після їх очистки, далі потрапляють у поверхневі водні об'єкти (Sjerps et al., 2016; Wang et al., 2018). Численні експериментальні дослідження

показали, що вода може проявляти різноманітні несприятливі біологічні ефекти, наприклад, ендокринні порушення, генотоксичність, токсичність для розвитку, гостру токсичність тощо (Sun et al., 2009; Jia et al., 2015; Chai et al., 2018). Для безпечного використання якості води має бути добре забезпечена під час процесу очищення зворотних вод (Petala et al., 2006a; Wang et al., 2018). Проте багато досліджень довели, що звичайні стандарти якості води не можуть належною мірою гарантувати її безпечність (Vieno et al., 2006; Wei et al., 2006; Kim et al., 2007), можливі причини можна підсумувати так: існують сотні і тисячі забруднюючих речовин у воді, а лише десятки з них регулюються стандартами; рекомендований ліміт концентрації для кожного забруднювача, який регулюється стандартами якості води, був отриманий на основі випробувань на токсичність окремих хімічних речовин, тоді як суміші забруднювачів у воді зазвичай призводять до спільних біологічних ефектів; щодо великої кількості забруднюючих речовин бракує даних про їхні токсичні властивості, щоб узагалі визначити їх безпечну концентрацію; оцінювання токсичності забруднюючих речовин за їх концентраціями не завжди достовірне.

Щоб компенсувати недоліки звичайних стандартів якості води, підхід до біологічного аналізу може відіграти важливу роль в оцінюванні безпечності якості води, оскільки біологічне оцінювання є більш корисним способом чіткого вимірювання рівня безпеки всіх забруднювачів у воді, а не аналізу концентрацій хімічних речовин (Leusch et al., 2014). Отже, біологічний аналіз є необхідним і можливим інструментом для оцінювання потенційної небезпеки забруднюючих речовин у воді водних об'єктів (Крайнюкова та ін., 2021).

Матеріал і методи

У навчально-дослідній лабораторії еколого-токсикологічних досліджень Навчально-наукового інституту екології Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна було проведено серію експериментальних досліджень із визначення хронічної токсичності води з річки Харків у межах Журавлівської водойми. Зразки було відібрано в липні та жовтні 2024 р. із Журавлівської водойми у таких створах, як: Квітучий міст; вул. Нескорених, міст; плавбаза Клубу моряків; Журавлівська гребля.

Для визначення токсичних властивостей зразків поверхневих вод нами була

використана методика визначення хронічної токсичності, яка ґрунтується на встановленні різниці між виживаністю і(або) плодючістю *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg у воді, що аналізується (дослід), та у воді, де *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg утримуються (контроль).

Критерієм хронічної токсичності є статистично значуще зменшення виживаності і(або) плодючості *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg у досліді порівняно з контролем упродовж біотестування. Тривалість біотестування становить (7 ± 1) діб до появи в 60% вихідних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg трьох пометів (ДСТУ, 2003).

Якість води оцінюють за рівнем її хронічної токсичності та ступенем забрудненості відповідно до класифікаційної шкали (табл. 1).

Результати. Журавлівська водойма була утворена в результаті будівництва в 1962 р. водопідйомної греблі на р. Харків у районі селища Журавлівка. Призначення водойми на той час було суто для цілей технічного водопостачання місцевих підприємств і рекреації. Натепер вищеозначена водойма функціонує лише з метою рекреації.

Нині основним джерелом забруднення Журавлівської водойми є поверхневий стік, який містить різні види забруднюючих речовин з урбанізованих територій та скиди зворотних вод підприємствами комунального господарства. З усіх боків Журавлівської водойми проходять міські автотранспортні шляхи, що негативно впливає на водойму через змив забруднюючих речовин. Оподи змиваються з доріг та паркувань, мають у своєму складі нафтопродукти (мастила, бензин, дизельне паливо), важкі метали та мікропластик, які потім потрапляють у водойму. У зимовий період використовуються реагенти та солі, які застосовують для таїння льоду, що також потрапляють у водойму. Вихлопні гази містять токсичні сполуки, які осідають на земній поверхні і потім змиваються у водойму.

Наземні роботи призводять до забруднення водоймища будівельним сміттям, пилом і осадовими частинками, які погіршують якість води. Поблизу СТО й автомилок можливі нелегальні скидання технічних рідин (антифризи, мастило, миючі засоби), що призводить до хімічного забруднення водойми.

У результаті проведених еколого-токсикологічних досліджень улітку 2024 р. токсичні властивості було визначено в усіх зразках поверхневих вод, які було відібрано із Журавлівської водойми (у створах Квітучий міст; вул. Нескорених, міст; плавбаза Клубу моряків; Журавлівська гребля) (рис. 1).

Улітку у створах Квітучого моста; вул. Нескорених (міст); плавбази Клубу моряків було визначено 2 клас якості води – вода слабо забруднена, а у створі Журавлівської греблі – 3 клас якості води (вода помірно забруднена).

Восени 2024 р. у створі Квітучого моста було визначено 2 клас якості води – вода слабо забруднена; у створах вул. Нескорених (міст), плавбази Клубу моряків було визначено 3 клас якості води – вода помірно забруднена, у створі Журавлівської греблі – 4 клас якості води (вода брудна).

Незадовільний стан якості зразків води в літній період пов'язаний з екстремально високими температурами повітря та води досліджуваного водного об'єкта. Тепла вода містить менше розчиненого кисню, що ускладнює дихання водних організмів і призводить до їх загибелі. У спекотні місяці відбувається розростання водоростей, активізується ріст кількості ціанобактерій через надлишок сонячного світла та поживних речовин (азоту та фосфору). Усе це призводить до процесів інтенсивної евтрофікації.

Літо 2024 р. було аномально спекотним, майже не було опадів, що призвело до зниження рівня води, а це спричинило збільшення концентрації забруднюючих речовин. Також улітку спостерігалось збільшення антропогенного навантаження через рекре-

Таблиця 1

Класифікація якості води за рівнями хронічної токсичності

Клас якості води	Ступінь забрудненості	Рівень хронічної токсичності, OT_x
I	чиста	1,0
II	слабо забруднена	1,1–2,0
III	помірно забруднена	2,1–4,0
IV	брудна	4,1–8,0
V	дуже брудна	більше 8,0

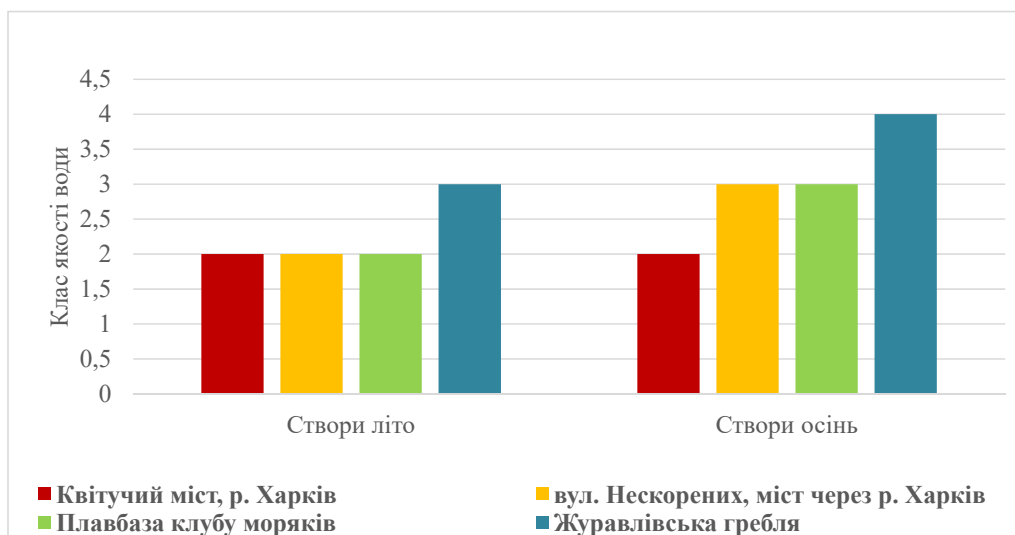


Рис. 1. Сезонна динаміка зміни хронічної токсичності у пробах води

ацію. Водойма частіше використовувалася для відпочинку, що призвело до потрапляння у водний об'єкт сміття, нафтопродуктів, побутової хімії й інших забруднювачів.

Також висока температури води забезпечує прискорене розкладання органіки на дні, спричиняє підняття мулу та вторинне забруднення води.

Восени процес погіршення якості води тривав, осінь 2024 р. також була аномально теплою та майже без опадів, що посилює процеси евтрофікації водойми, також додалися осінні явища, пов'язані з опалим листям і рослинністю. Листя, гілки й інші органічні речовини, що розкладаються, містять органічні кислоти, аміак і сірководень, які можуть підвищити токсичні властивості води. Також осіннє охолодження призвело до перемішування поверхневих і донних шарів води, що, можливо, сприяло підняттю накопичених за літо токсинів і шкідливих газів (сірководень, метан).

Обговорення. Біотестування дозволяє оперативно виявляти токсичність будь-яких хімічних речовин, зокрема нових, ще не зовсім вивчених, а також їх сумішей. Цей метод дає можливість виявити приховані екологічні впливи на початкових стадіях, визначити біологічну доступність небезпечних речовин, що неможливе за допомогою традиційного хімічного аналізу. Біотестування забезпечує ефективне й економічно вигідне оцінювання впливу різних речовин на живі організми. За допомогою біотестування можна контролювати якість води водних об'єктів, виявляти навіть мінімальний вміст шкідливих речовин.

Використання біотестів допомагає прогнозувати довгострокові наслідки впливу забруднювачів на екосистему, дозволяє оцінити кумулятивний вплив різних забруднювачів, виявити їхній синергетичний ефект.

Біотестування – це цінний інструмент для наукових досліджень, що дозволяє отримувати точні дані про вплив довкілля й антропогенної діяльності людини на організми.

Висновки. Основною проблемою, яка впливає на якість води в Журавлівській водоймі, є зміна гідрологічного режиму р. Харків та значне зменшення водності річки, яке пов'язане зі зміною кліматичних показників, які спостерігаються останнім часом. Це призводить до прискорення цвітіння водоростей. Тепла вода створює сприятливі умови для розмноження синьо-зелених водоростей (ціанобактерій), які виділяють токсини та знижують рівень кисню у воді. Це призводить до масової загибелі риби та погіршення якості води. Також у разі підвищення температури розчинність кисню у воді зменшується, що негативно впливає на водні організми та сприяє утворенню зон із низьким вмістом кисню (зони гіпоксії). Тепла вода сприяє збільшенню бактерій і патогенів, що ускладнює її очищення, робить водоймище менш придатним для рекреаційного використання.

Тривалі посухи, які спостерігались у 2024 р., призводять до зниження рівня води, що збільшує концентрацію забруднюючих речовин, як-от сольові розчини, пестициди та промислові відходи. Скорочення обсягу води прискорює процес її застою та замулювання.

З підвищенням температури виникає ризик поширення інвазивних видів рослин і тварин, які можуть витіснити місцеву флору і фауну, погіршувати екологічний стан водойми.

Також останнім часом спостерігається зміна сезонних режимів водоймища. Укорочений період замерзання взимку порушує природні біологічні цикли водойми, що призводить до нестабільності екосистеми та прискореного розмноження мікроорганізмів. Рання весняна повинь призводить

до швидкого танення снігу, що може збільшити навантаження на водоймище через приплив забрудненої води.

Отже, глобальне потепління становить серйозну загрозу якості води Журавлівської водойми, яка потребує комплексних заходів, серед яких можемо запропонувати поліпшення систем очищення зливових стоків, озеленення берегової лінії для запобігання ерозії, контроль за викидами промислових і побутових стоків, регулярний моніторинг токсичних властивостей води.

Список використаної літератури

ДСТУ 4174-2003. Якість води. Визначання сублетальної та хронічної токсичності хімічних речовин та води на *Daphnia magna* Straus і *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 1076:2000, MOD). 22 с.

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. № 24. С. 103–116.

Besse J.P., Geffard O., Coquery M. Relevance and applicability of active biomonitoring in continental waters under the Water Framework. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2012. Vol. 36. P. 113–127.

Brack W., Ait-Aissa S., Burgess R.M., Busch W., Creusot N., Di Paolo C., Krauss M. Effect-directed analysis supporting monitoring of aquatic environments – an in-depth overview. *Science of the Total Environment*. 2016. Vol. 544. P. 1073–1118.

Chai Q., Hu A., Qian Y., Ao X., Liu W., Yang H., Xie Y.F. A comparison of genotoxicity change in reclaimed wastewater from different disinfection processes. *Chemosphere*. 2018. Vol. 191. P. 335–341.

Crane M., Burton G.A., Culp J.M., Greenberg M.S., Munkittrick K.R., Ribeiro R., St-Jean S.D. Review of aquatic in situ approaches for stressor and effect diagnosis. *Integrated Environmental Assessment and Management: An International Journal*. 2007. Vol. 3. № 2. P. 234–245.

Jia A., Escher B., Leusch F., Tang J., Prochazka E., Dong B., Snyder E., Snyder S. In vitro bioassays to evaluate complex chemical mixtures in recycled water. *Water Research*. 2015. Vol. 80. P. 1–11.

Kim S.D., Cho J., Kim I. S., Vanderford B.J., Snyder S.A. Occurrence and removal of pharmaceuticals and endocrine disruptors in South Korean surface, drinking, and waste waters. *Water Research*. 2007. Vol. 41. № 5. P. 1013–1021.

Leusch F.D.L., Khan S.J., Gagnon M.M., Quayle P., Trinh T., Coleman H., Rawson C. Assessment of wastewater and recycled water quality: A comparison of lines of evidence from in vitro, in vivo and chemical analyses. *Water Research*. 2014. Vol. 50. P. 420–431.

Persson L., Carney Almroth, B.M., Collins C.D., Cornell S., De Wit C.A., Diamond M.L., Hauschild M.Z. Outside the safe operating space of the planetary boundary for novel entities. *Environmental science & technology*. 2022. Vol. 56. № 3. P. 1510–1521.

Petala M., Samaras P., Kungolos A., Zouboulis A., Papadopoulos A., Sakellaropoulos G.P. The effect of coagulation on the toxicity and mutagenicity of reclaimed municipal effluents. *Chemosphere*. 2006. Vol. 65. № 6. P. 1007–1018.

Reid A.J., Carlson A.K., Creed I.F., Eliason E.J., Gell P.A., Johnson P.T., Cooke S.J. Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. *Biological reviews*. 2019. Vol. 94. № 3. P. 849–873.

Sjerps R.M.A., Vughs D., Leerdam J.A., Laak T.L., Wezel A.P. Data-driven prioritization of chemicals for various water types using suspect screening LC-HRMS. *Water Research*. 2016. Vol. 93. P. 254–264.

Sun Y., Wu Q., Hu H., Tian J. Effect of ammonia on the formation of THMs and HAAs in secondary effluent chlorination. *Chemosphere*. 2009. Vol. 76. № 5. P. 631–637.

Vieno N.M., Tuhkanen T., Kronberg L. Analysis of neutral and basic pharmaceuticals in sewage treatment plants and in recipient rivers using solid phase extraction and liquid chromatography–tandem mass spectrometry detection. *Journal of Chromatography A*. 2006. Vol. 1134. № 1–2. P. 101–111.

Wang J., Tian Z., Huo Y., Yang M., Zhen, X., Zhang Y. Monitoring of 943 organic micropollutants in wastewater from municipal wastewater treatment plants with secondary and advanced treatment processes. *Journal of Environmental Sciences*. 2018. Vol. 67. P. 309–317.

Wei D., Kisuno A., Kameya T., Urano K. A new method for evaluating biological safety of environmental water with algae, daphnia and fish toxicity ranks. *Science of The Total Environment*. 2006. Vol. 371. № 1–3. P. 383–390.

Wepener V., Van Vuren J.H.J., Chatiza F.P., Mbizi Z., Slabbert L., Masola B. Active biomonitoring in freshwater environments: early warning signals from biomarkers in assessing biological effects of diffuse sources of pollutants. *Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C*. 2005. Vol. 30. № 11–16. P. 751–761.

References

DSTU 4173-2003. Jakistj vody. Vyznachannja ghostroji letaljnoji toksychnosti na Daphnia magna Straus ta *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) [Water quality. Determination of acute lethal toxicity to *Daphnia magna* Straus and *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea)] (ISO 6341:1996, MOD). 17 p. [in Ukrainian].

Krainsiukova, A.M., Krainsiukov, O.M., & Kryvyckja, I.A. (2021). Vykorystannja metodyk biotestuvannja dlja ocinjuvannja ekologichnogho stanu poverkhnevykh vod [The use of biotesting techniques to assess the ecological status of surface waters]. *Visnyk Kharkivskogho nacionalnogho universytetu imeni V.N. Karazina. Serija "Ekologhija" [Bulletin of Kharkiv National University named after V.N. Karazin. Series "Ecology"]*. 24, 103–116. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-09> [in Ukrainian].

Besse, J.P., Geffard, O., & Coquery, M. (2012). Relevance and applicability of active biomonitoring in continental waters under the Water Framework Directive. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 36, 113–127. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2012.04.004> [in English].

Brack, W., Ait-Aissa, S., Burgess, R.M., Busch, W., Creusot, N., Di Paolo, C., ... & Krauss, M. (2016). Effect-directed analysis supporting monitoring of aquatic environments – an in-depth overview. *Science of the Total Environment*, 544, 1073–1118. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.102> [in English].

Chai, Q., Hu, A., Qian, Y., Ao, X., Liu, W., Yang, H., Xie, Y.F. (2018). A comparison of genotoxicity change in reclaimed wastewater from different disinfection processes. *Chemosphere*, 191, 335–341. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.024> [in English].

Crane, M., Burton, G.A., Culp, J.M., Greenberg, M.S., Munkittrick, K.R., Ribeiro, R., ... & St-Jean, S.D. (2007). Review of aquatic in situ approaches for stressor and effect diagnosis. *Integrated Environmental Assessment and Management: An International Journal*, 3 (2), 234–245. https://doi.org/10.1897/IEAM_2006-027.1 [in English].

Jia, A., Escher, B., Leusch, F., Tang, J., Prochazka, E., Dong, B., Snyder, E., Snyder, S. (2015). In vitro bioassays to evaluate complex chemical mixtures in recycled water. *Water Research*, 80, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.05.020> [in English].

Kim, S.D., Cho, J., Kim, I.S., Vanderford, B.J., Snyder, S.A. (2007). Occurrence and removal of pharmaceuticals and endocrine disruptors in South Korean surface, drinking, and waste waters. *Water Research*, 41 (5), 1013–1021. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.06.034> [in English].

Leusch, F.D.L., Khan, S.J., Gagnon, M.M., Quayle, P., Trinh, T., Coleman, H., Rawson, C. (2014). Assessment of wastewater and recycled water quality: A comparison of lines of evidence from in vitro, in vivo and chemical analyses. *Water Research*, 50, 420–431. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.10.056> [in English].

Persson, L., Carney Almroth, B.M., Collins, C.D., Cornell, S., De Wit, C.A., Diamond, M.L., ... & Hauschild, M.Z. (2022). Outside the safe operating space of the planetary boundary for novel entities. *Environmental science & technology*, 56 (3), 1510–1521. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04158> [in English].

Petala, M., Samaras, P., Kungolos, A., Zouboulis, A., Papadopoulos, A., Sakellariopoulos, G.P. (2006). The effect of coagulation on the toxicity and mutagenicity of reclaimed municipal effluents. *Chemosphere*, 65 (6), 1007–1018. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.03.035> [in English].

Reid, A.J., Carlson, A.K., Creed, I.F., Eliason, E.J., Gell, P.A., Johnson, P.T., ... & Cooke, S.J. (2019). Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. *Biological reviews*, 94 (3), 849–873. <https://doi.org/10.1111/brv.12480> [in English].

Sjerps, R.M.A., Vughs, D., Leerdam, J.A., Laak, T.L., Wezel, A.P. (2016). Data-driven prioritization of chemicals for various water types using suspect screening LC-HRMS. *Water Research*, 93, 254–264. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.02.034> [in English].

Sun, Y., Wu, Q., Hu, H., Tian, J. (2009). Effect of ammonia on the formation of THMs and HAAs in secondary effluent chlorination. *Chemosphere*, 76 (5), 631–637. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.04.041> [in English].

Vieno, N.M., Tuhkanen, T., Kronberg, L. (2006). Analysis of neutral and basic pharmaceuticals in sewage treatment plants and in recipient rivers using solid phase extraction and liquid chromatography–tandem mass spectrometry detection. *Journal of Chromatography A*, 1134 (1–2), 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2006.08.077> [in English].

Wang, J., Tian, Z., Huo, Y., Yang, M., Zhen, X., Zhang Y. (2018). Monitoring of 943 organic micro-pollutants in wastewater from municipal wastewater treatment plants with secondary and advanced treatment processes. *Journal of Environmental Sciences*, 67, 309–317. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.09.014> [in English].

Wei, D., Kisuno, A., Kameya, T., Urano, K. (2006). A new method for evaluating biological safety of environmental water with algae, daphnia and fish toxicity ranks. *Science of The Total Environment*, 371 (1–3), 383–390. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.08.038> [in English].

Wepener, V., Van Vuren, J.H.J., Chatiza, F.P., Mbizi, Z., Slabbert, L., & Masola, B. (2005). Active biomonitoring in freshwater environments: early warning signals from biomarkers in assessing biological effects of diffuse sources of pollutants. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 30 (11–16), 751–761. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5704-2_2 [in English].

Отримано: 29.01.2025

Прийнято: 13.02.2025



УДК 234.34.44.55

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.5>

КОМАХИ – БІОІНДИКАТОРИ ЗАБРУДНЕННЯ НАЗЕМНИХ ЕКОСИСТЕМ

О. В. Кратко¹, А. М. Головатюк², О. Б. Бондар³

У статті представлено результати дослідження комах як біоіндикаторів забруднення наземних екосистем. Серед великого розмаїття організмів-індикаторів одним із найбільш розповсюджених таксонів є комах (Insecta). У разі використання саме комах із метою оцінювання впливу антропогенних чи техногенних чинників, зміни клімату на природне навколишнє середовище, визначення екологічного стану екосистеми як критерії виокремлюють і спостерігають: морфометричні зміни, забарвлення покривів, популяційні характеристики, ентомологічні особливості тощо. Поширеним є використання як біоіндикаторів мурах, адже вони є важливою ланкою біогеоценозів, сприяють як природному відтворенню, так і збагаченню фітоценозу. Одним із найбільш цінних зооіндикаторів стану екосистеми серед комах є Лісова мураха *Iberoformica subtrufa*, яка широко розповсюджена на досліджуваній території міста Кременця Тернопільської області. Лісові мурахи використовують складну систему хімічних сигналів для спілкування в колоніях, пошуку їжі, маркування та захисту. Така система зв'язку дозволяє їм ефективно працювати в колонії та швидко реагувати на зміни в навколишньому природному середовищі. Окремою перевагою досліджуваного виду є відносна стійкість колоній мурах до стресових чинників навколишнього природного середовища, що полягає в їхній здатності накопичувати забруднювальні речовини та стереотипно реагувати на них. Це дозволяє використовувати колонії мурах для своєчасного моніторингу нових загроз, зокрема і змін клімату.

Висвітлені основні результати спостережень, досліджень комах як біоіндикаторів забруднення наземних екосистем. Охарактеризовано сутність і актуальність зооіндикації, зокрема ентомобіоіндикації; особливості використання комах-індикаторів на прикладі *Iberoformica subtrufa*; визначено напрями, переваги та перспективи використання біологічного індикатора. Оцінено значення і перспективи використання Лісової мурахи як біоіндикатора стану біогеоценозу у зв'язку із гло-

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 кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри екології та охорони здоров'я
(Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль)
e-mail: olexandr.bondar91@gmail.com
ORCID: 0000-0002-3448-8943

бальними кліматичними змінами й антропогенними забрудненнями на основі визначення кількості куполів гнізд, їхньої висоти та діаметра, морфометричних змін особин тощо.

Ключові слова: моніторинг стану екосистеми, організми-зооіндикатори, комахи, кліматичні зміни, лісова мураха.

INSECTS AS BIOINDICATORS OF TERRESTRIAL ECOSYSTEMS POLLUTION

O. V. Kratko, L. M. Holovatyuk, O. B. Bondar

The article presents the results of a study of insects as bioindicators of terrestrial ecosystem pollution. Among the great diversity of indicator organisms, insects (Insecta) are one of the most widespread taxa. When insects are used to assess the impact of anthropogenic or anthropogenic factors, climate change on the natural environment, and to determine the ecological state of an ecosystem, the following criteria are identified and observed: morphometric changes, color of covers, population characteristics, entomological features, etc. It is common to use ants as bioindicators, as they are an important link in biogeocenoses, contributing to both natural reproduction and enrichment of the phytocoenosis. One of the most valuable zoo-indicators of ecosystem health among insects is the forest ant *Iberoformica subrufa*, which is widespread in the study area of Kremenets, Ternopil Oblast. They use a complex system of chemical signals to communicate in colonies, search for food, mark and protect themselves. Such a communication system allows them to work effectively in the colony and respond quickly to changes in the environment.

A separate advantage of the species under study is the relative resistance of ant colonies to environmental stressors, which lies in their ability to accumulate pollutants and stereotypically respond to them. This makes it possible to use ant colonies for timely monitoring of new threats, including climate change.

The main results of observations and studies of insects as bioindicators of terrestrial ecosystems pollution are highlighted. The essence and relevance of zooindication, in particular entomobioindication, are characterized; the peculiarities of using insect indicators on the example of *Iberoformica subrufa* are described; the directions, advantages and prospects of using the biological indicator are determined. The importance and prospects of using the Forest ant as a bioindicator of the state of biogeocenosis in connection with global climate change and anthropogenic pollution are assessed on the basis of determining the number of nest domes, their height and diameter, morphometric changes of individuals, etc.

Key words: ecosystem monitoring, zoo-indicator organisms, insects, climate change, forest ant.

Вступ

Погіршення екологічного стану навколишнього природного середовища в багатьох містах, промислових країнах призвело до необхідності систематичного моніторингу геологічних сфер (Кратко і Вербицький, 2024). Забруднення атмосферного повітря є однією з найактуальніших екологічних проблем у всьому світі, особливо це стосується сільських і міських територій. Якість атмосферного повітря та ступінь забруднення можна визначати за допомогою лабораторних чи інструментальних методів дослідження. Проте названі методи потребують значних матеріальних, фінансових затрат. Поширення в моніторингових дослідженнях набули методи біоіндикації, які характеризуються інтегральним характером, не потребують значних фінансових витрат, матеріального чи лабораторного обладнання і є значно простішими в дослідженні. Найбільш поширеним методом моні-

торингу стану атмосферного повітря є аналіз за станом рослинних і тваринних організмів (Кратко та ін., 2023).

Метою роботи було здійснення аналізу й узагальнення відомостей як з наукових, так і з публіцистичних джерел, а також статистичних даних стосовно особливостей використання комах як біоіндикаторів різних біотопів; визначення впливу екологічно різних умов існування на морфологічні характеристики Лісової мурахи *Iberoformica subrufa*.

Завдання дослідження передбачали проведення аналізу наукових праць за такими напрямками: 1) сутність і актуальність зооіндикації, зокрема ентомобіоіндикації; особливості використання комах-індикаторів; визначення напрямів, переваг і перспектив використання біологічного індикатора; 2) оцінювання значення та перспективи використання Лісової мурахи *Iberoformica subrufa* як біоіндикатора стану біогеоце-

нозу у зв'язку із глобальними кліматичними змінами.

Зооіндикація – це метод біоіндикації, який використовує тваринні організми для оцінювання стану навколишнього природного середовища. Цей підхід обґрунтовується на аналізі чисельності, поведінки, фізіологічних і морфологічних змін окремих видів тварин у конкретній екосистемі.

Тваринні організми, завдяки своїй екологічній пластичності та чутливості до змін у середовищі, служать індикаторами екологічного стану. Зооіндикаторні види реагують на зміни у фізичних, хімічних чи біологічних параметрах середовища, що робить їх ефективними маркерами екологічних умов. У статті висвітлено та проаналізовано зміни параметрів популяцій комах Лісової мурахи *Iberoformica subrufa* в антропогенно трансформованих екосистемах.

Матеріал і методи

Вивчення особливостей стійкості Лісової мурахи *Iberoformica subrufa* до антропогенного навантаження здійснювали на території міста Кременця протягом 2023–2024 рр. Спостереження за комахами проводилося в районах із різним антропогенним навантаженням. Визначалися кількість куполів гнізд, їхня висота та діаметр; морфометричні зміни тощо.

Для визначення кількості куполів гнізд Лісової мурахи, їхньої висоти та діаметра, аналізу морфометричних змін дотримувалися такої методології: 1) визначення дослідних ділянок із різним антропогенним навантаженням; 2) виявлення куполів гнізд, їх кількості; 3) визначення висоти, діаметра куполів гнізд за допомогою вимірювальних приладів – лінійки та рулетки; 4) визначення морфометричних змін Лісової мурахи (довжини тіла) за допомогою вимірювального приладу – лінійки.

Стійкість видів груп комах до чинника антропогенного впливу визначалась на основі класифікації: антропофільні види (переважають в антропогенних ландшафтах); антропоіндиферентні види (трапляються як у природних, так і у слабкопорушених антропогенних ландшафтах); антропофобні види (трапляються лише у природних ландшафтах).

Результати

У науковому дослідженні нами проаналізовано використання типу членистоногих (*Arthropoda*) як об'єктів зооіндикації для оцінювання стану навколишнього середовища. Комахи (*Insecta*) є однією з найріз-

номанітніших і найбільш численних груп тварин типу членистоногих і водночас перспективною групою тварин для реалізації біоіндикаційних досліджень, адже вони вирізняються великою як видовою, так і екологічною різноманітністю, різною стійкістю до техногенних впливів і різними характерними реакціями на них. Їх застосування базується на чутливості до змін екологічних умов і здатності відображати екологічні характеристики середовища, у якому вони мешкають.

Лісова мураха *Iberoformica subrufa* добре адаптована і відома своєю агресивною природою. Харчуються переважно комахами, окрім них, шукають солодкі речовини, як-от нектар, медяна роса та виділення цукрових рослин. Що дозволяє їм добре адаптуватися та збільшувати чисельність, ареал поширення в різних середовищах проживання. Лісова мураха *Iberoformica subrufa* відіграє значну роль у своїй екосистемі. Ці мурахи вважаються біоіндикаторами, тобто зміни в їхніх популяціях вказують на зміни навколишнього природного середовища. Їх присутність може дати цінну інформацію про здоров'я екосистеми.

На основі спостережень нами виокремлені основні аспекти використання саме класу Комахи (*Insecta*):

- висока чутливість;
- різноманітність середовищ існування;
- легкість збору і вивчення;
- широкий спектр екологічних ніш.

Дослідження та спостереження підтвердили науковий факт, що вид Лісова мураха *Iberoformica subrufa* справді є біоіндикатором стану екосистеми. Стан популяції досліджуваного виду свідчить про рівень забруднення довкілля або інші екологічні проблеми екосистеми. У процесі спостережень підтвердили відомий факт, що Лісові мурахи виконують важливу роль у природі: 1) чутливо реагують на рівень забруднення повітря, ґрунту та води, а також на наявність пестицидів і важких металів; 2) поширеність. Лісові мурахи живуть у різних регіонах, що дозволяє порівнювати екосистеми; 3) довготривале існування колоній. Зміни у складі та чисельності колоній свідчать про довготривалі зміни в екосистемі.

У відборі комах для власного спостереження, як модельних об'єктів ентомобіоіндикації, дотримувалися загальноприйнятих вимог щодо організмів-зоомоніторів – це добра вивченість виду, ареал поширення,

міграційна активність, простота збирання та спостереження в біоценозі.

Ентомобіоіндикація забрудненості екосистеми включала три напрями досліджень:

Перший етап передбачав підбір видів-зоомоніторів. За біоіндикатор нами була вибрана Лісова мураха *Iberoformica subrufa*.

Другий етап – вибір досліджуваних ділянок із різним антропогенним навантаженням. Нами було вибрано чотири локації – НПП «Кременецькі гори», Ботанічний сад, вул. Шевченка та вул. Дубенська.

Третій етап – прогнозування раннього антропогенного впливу.

Четвертий етап – прогнозування стану окремих біотичних компонентів екосистеми та діагностика стану екосистеми загалом.

Перед проведенням ентомологічного моніторингу детально вивчили біологічні параметри досліджуваного виду-зооіндикатора.

Визначення окремих показників стану біоценозу не дає загального уявлення про його якість. Найкращим його підтвердженням можуть бути організми, які мешкають на досліджуваній території. Мурахи (*Formicidae*) є як первинними, так і вторинними консументами, отже, порівняно з іншими організмами, залежать від продуцентів і ареалу існування. У ланцюгах живлення й екологічних пірамідах саме первинним консументам зазвичай властиве центральне положення. Негативний вплив на комах призводить до переривання трофічних ланцюгів, отже, і до порушення кругообігу речовин і енергії.

У результаті використання Лісової мурахи *Iberoformica subrufa* за біоіндикатор установлено, що найбільша концентрація їх спостерігалася в лісовій зоні, а також у парко-

вій зоні та на вулицях із широкими смугами зелених насаджень із незначним техногенним і автомобільним навантаженням. Нами встановлено відмінності в морфометричних показниках Лісової мурахи в різних районах міста Кременця. На основі спостережень нами з'ясовано, що найбільша маса та довжина тіла Лісової мурахи спостерігалися в зонах антропогенного навантаження. Нами зафіксовані відмінності за довжиною тіла, збільшенням розмірів Лісової мурахи в результаті техногенного навантаження, результати представлені в таблиці (табл. 1).

Із поданої таблиці бачимо, що в популяціях різних досліджуваних зон спостерігалися зміни внутрішньовидових розмірів тіла Лісової мурахи. Існує доведена тенденція збільшення розмірів тіла комах у популяціях у біотопах з антропогенним навантаженням. За нашим спостереженням, морфологічні зміни спостерігаються внаслідок забруднення атмосферного повітря та ґрунтового покриття автомобільним транспортом. Отже, з вибраних для дослідження локацій забрудненими виявилися вулиці біля автотраси – вул. Шевченка та вул. Дубенська, про що свідчили збільшені розміри тіла Лісової мурахи.

Досліджувалися нами також у відповідних зонах кількість куполів гнізд, їхня висота та діаметр (табл. 2).

Відповідно до таблиці бачимо, що в популяціях різних досліджуваних зон спостерігалися зміни висоти та діаметра досліджуваних гнізд колоній Лісової мурахи. Існує доведена тенденція збільшення висоти та діаметра гнізда колонії в біотопах без значного антропогенного навантаження і зменшення у зв'язку з антропогенним наван-

Таблиця 1

Морфометричні особливості Лісової мурахи *Iberoformica subrufa*

Місце збору	Кількість, гол.	Довжина, мм
НПП «Кременецькі гори»	30	15 ± 0,08
Ботанічний сад	30	15 ± 0,08
вул. Шевченка	30	20 ± 0,08
вул. Дубенська	30	18 ± 0,08

Таблиця 2

Морфометричні особливості колонії Лісової мурахи *Iberoformica subrufa*

Місце збору	кількість виявлених куполів гнізд	висота купола гнізда в сантиметрах	діаметр купола гнізда в сантиметрах
НПП «Кременецькі гори»	15	80	50
Ботанічний сад	10	75	45
вул. Шевченка	5	60	40
вул. Дубенська	5	50	40

таженням. Нами помічені зміни (висота та діаметр купола колонії) унаслідок забруднення атмосферного повітря та ґрунтового покриву автомобільним транспортом. Отже, проведене спостереження підтверджує факт, що з вибраних для дослідження локацій забрудненими виявилися вулиці біля автотраси – вул. Шевченка та вул. Дубенська, про що свідчили зменшені розміри куполів колонії Лісової мурахи порівняно з куполами колоній в інших досліджуваних біотопах.

Відомо, що різке збільшення рівня асиметрії в популяціях Лісової мурахи спостерігається у двох випадках: у першому – у разі порушення генного балансу популяції внаслідок міграції особин із різних популяцій; у другому – унаслідок адаптованих змін до умов існування. Наприклад, унаслідок антропогенного забруднення, різкої зміни температури, радіаційного іонізуючого випромінювання тощо (Лавренко та ін., 2022).

Варто зазначити, що зміни у складі повітря чи ґрунту можуть призвести до зміни фенотипової структури Лісової мурахи. Мінливість фенотипової структури мурах може корелювати з рівнем забруднення атмосферного повітря, наприклад, підвищення частки чорних (меланістичних) особин у популяціях. Така зміна, мінливість, може бути пов'язана не лише із забрудненням, але й із сезонними коливаннями температури середовища. У популяціях, за якими ми вели спостереження, зміни фенотипової структури мурах не спостерігалось, що свідчить про те, що забруднення атмосферного повітря є незначним, тому і не виникає суттєвих змін у популяції. Також відсутність фенотипових змін є свідченням стабільних температурних показників.

Під час наших спостережень зазначався просторовий розподіл комах у біоценозах у результаті антропогенного забруднення, зокрема вплив пестицидів, солей важких металів (у результаті ведення сільського господарства), а також унаслідок лісотехнічних заходів, які активно проводяться в НПП «Кременецькі гори». Названі впливи спричиняли підвищення активності мурах та їх міграцію в інші біотопи.

Обговорення

З метою визначення якості досліджуваного середовища, біоценозу за допомогою популяції комах як зооіндикаторів ураховуються такі характеристики комах: відносна чисельність, фенотипова структура комах,

рівень асиметрії білатеральних морфологічних ознак, статева структура популяцій, просторовий розподіл комах у біоценозах, сезонна динаміка імаго, внутрішньовидові розміри тіла комах, чисельність екологічних груп в угрупованні тощо (Фасулаті і Кижаєва, 2020).

Важливим аспектом під час дослідження є виявлення основних груп комах щодо чинника антропогенного впливу. Варто визначити стійкі антропофільні види, які переважають в антропогенних ландшафтах; антропоіндиферентні види, які трапляються як у природних, так і у слабкопорушених антропогенних ландшафтах; антропофобні види, які трапляються лише у природних ландшафтах (Лавренко та ін., 2022; Melnyuk et al., 2023).

За даними вчених-природодослідників і наукових установ світу відомо, що щорічно кількість і біорозмаїття комах значно знижуються, що пов'язано з антропогенним впливом людини. Асиміляційний апарат членистоногих тварин є надійним інструментом оцінювання геологічних сфер щодо забруднюючих агентів і можливості проведення систематичних спостережень. Методи зооіндикації є надійним інструментом для визначення інтегрального показника екосистеми. Перспективним напрямом використання саме біоіндикації є вивчення тих речовин, які переважають у результаті антропогенного забруднення. Доведено, що методи зооіндикації можуть застосовуватися в Україні для моніторингу стану атмосферного повітря, ґрунтового середовища, особливо в зоні впливу сміттєзвалищ, що дасть можливість розробити стратегію поводження з відходами як об'єктом підвищеної екологічної небезпеки (Malovanyu et al., 2021). Оскільки комахи є дуже чутливими до змін навколишнього природного середовища, вони можуть бути використані як безцінні індикатори з метою оцінювання якості сільськогосподарських полів. Результати моніторингу показали, що кількість видів, зібраних у місцях, де ведеться органічне землеробство, значно більша, ніж на тих сільськогосподарських ділянках, де спостерігається нераціональне використання хімічного удобрення (Ghazoul, 2006). Аналіз досліджень показав, що не менш ефективним було використання членистоногих для оцінювання успішності рекультиватії – тобто повернення екосистеми до її початкового стану, до порушення її людиною, шляхом відтворення природного ландшафту. Зокрема, дослідження на

постгірничих меліоративних територіях у Бінунгані показали, що мурахи є найбільш корисним потенційним біоіндикатором для оцінювання успішної рекультиватії в районах після антропогенного впливу (видобутку корисних копалин) (Buchori et al., 2018). Проводилися наукові дослідження мурах як біоіндикаторів у бразильській саванні, дослідження показали, що зміни у видовому багатстві та складі щодо потенційної біоіндикації, визначені як біоіндикатори 167 видів бразильської савани, пов'язані з конкретними місцями існування. Це дозволило скорегувати визначення індикаційних характеристик збережених або деградованих територій (Tibcherani et al., 2018).

Лісова мураха *Iberoformica subrufa* відповідає вищевказаним критеріям (адже є типовою для різних умов спостереження; має високу чисельність у більшості досліджуваних біотопах; мешкає в ареалі спостереження протягом визначеного періоду, що забезпечує можливість простежувати динаміку популяцій і дії різних екологічних чинників; надає можливість зручного відбору проб для визначення зміни покриттів, розмірів, забарвлення, пропорцій, популяційних характеристик тощо). Лісова мураха *Iberoformica subrufa* все частіше використовується для здійснення моніторингу забруднення навколишнього природного середовища різними токсичними речовинами. Адже в разі наявності в біотопі невластивих агентів, токсичних речовин мурахи відразу змінюють свою звичну поведінку, напрямок руху, інтенсивність тощо. Сезонне застосування інсектицидів у сільському господарстві також впли-

ває на зміну поведінки в популяції Лісової мурахи *Iberoformica subrufa* (Решновецький і Терепищій, 2023).

Спостереженням за мурахами екологи можуть отримувати важливу інформацію про стан довкілля та вчасно виявляти проблеми, пов'язані із забрудненням.

Висновки

У статті нами висвітлені основні результати спостережень, досліджень Лісової мурахи *Iberoformica subrufa* як біоіндикатора забруднення наземних екосистем у місті Кременці на чотирьох локаціях – НПП «Кременецькі гори», Ботанічний сад, вул. Шевченка та вул. Дубенська. У результаті спостереження та дослідження було з'ясовано, що з вибраних локацій забрудненими виявилися вулиці біля автотраси (вул. Шевченка та вул. Дубенська), про що свідчили збільшені розміри тіла Лісової мурахи та зменшення висоти, кількості та діаметра куполів її колоній. Досліджувані території НПП «Кременецькі гори» та Ботанічного саду виявилися менш забрудненими, про що свідчили зменшені розміри тіла Лісової мурахи та збільшення висоти, кількості та діаметра куполів її колоній.

Охарактеризовано сутність і актуальність зооіндикації, зокрема ентомобіоіндикації; особливості використання комах-індикаторів на прикладі Лісової мурахи *Iberoformica subrufa*; визначено напрями, переваги та перспективи використання біологічного індикатора. Оцінено значення та перспективи використання Лісової мурахи як біоіндикатора стану біогеоценозу у зв'язку із глобальними кліматичними змінами й антропогенними забрудненнями.

Список використаної літератури

- 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., 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.
- 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., Кижасева 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.

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. <https://orcid.org/0000-0002-3448-8943>.

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>.

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., & Verbytskyi, O.G. (2024). Biomonitoring stanu dovkillja z vykorystannjam roslynnykh indykatoriv [Biomonitoring of the environment using plant indicators]. *Mekhanizm starinnja v biologiji – 2024 [Mechanism of aging in biology – 2024]*. Kyiv, pp. 174–178 [in Ukrainian].

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, pp. 41–45 [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., & Terepyshchy, S.O. (2023). Chorni sadovi murakhy v sosnovykh lisakh Bojarsjkogho lisnytva [Black garden ants in the pine forests of the Boyarsky forestry]. *Visnyk Kharkivsjkogho instytutu socialnogho proghresu [Bulletin of the Kharkiv Institute for Social Progress]*, 1 (34), 23–26 [in Ukrainian].

Fasulati, K.K., & Kizhaeva, K.Y. (2020). Do vyvchennja fauny i ekologiji 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*, 19, 1696–1702. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d190515> [in English].

Ghazoul, J. (2026). Floral diversity and the facilitation of pollination. *Journal of Ecology*, 94, 295–304 [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), 272–286. <https://orcid.org/0000-0002-3448-8943> [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. <https://doi.org/10.12911/22998993/137446> [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. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v65i2.2048> [in English].

Отримано: 31.01.2025

Прийнято: 14.02.2025



УДК 581.527+581.524]: 581.9 (477.51)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.6>

ФЛОРИСТИЧНІ ТА ЦЕНОТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЛІСОВОЇ РОСЛИННОСТІ ПІВДЕННО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧЕРНІГІВСЬКОГО ПОЛІССЯ

О. Б. Мехед¹, С. В. Кирієнко²

У статті наведено флористичні та ценотичні особливості лісової рослинності південно-західної частини Чернігівського Полісся, яка належить до Остерського геоботанічного району й охоплює західну частину Чернігівського району Чернігівської області. Особливості її геоморфологічної будови, рельєфу, гідрологічних умов, ґрунтового покриву зумовили формування різноманітних угруповань лісової рослинності. Соснові ліси представлені трьома асоціаціями, союзу *Dicranopinion sylvestris*, порядку *Pinetalia sylvestris*, класу *Vaccinio-Piceetea*; дубово-соснові ліси – асоціацією *Quercus roboris-Pinetum*, союзу *Pino-Quercion*, порядку *Quercetalia roboris*, класу *Quercetea roboris-petraeae*; грабові, грабово-дубові ліси – асоціацією *Tilio cordatae-Carpinetum*, союзу *Carpinion betuli*; кленово-липово-дубові та липово-дубові ліси – асоціацією *Mercurialo perennis-Quercetum roboris*, союзу *Quercus roboris-Tilion cordatae*, віднесені до порядку *Carpinetalia betuli*, класу *Carpino-Fagetea sylvaticae*; вільхові ліси – асоціаціями *Carici elongatae-Alnetum*, *Ribo nigri-Alnetum*, союзу *Alnion glutinosae*, порядку *Alnetalia glutinosae*, класу *Alnetea glutinosae*. В основу роботи покладені матеріали польових досліджень і напрацювань науковців у період 2018–2023 років на території Чернігівського Полісся (південно-західна частина регіону досліджень у межах Чернігівської області) у лісових фондах лісництва державного підприємства «Чернігівське лісове господарство». Флористичні особливості території досліджень характеризуються переважанням типових бореальних видів, серед яких є частина, що перебуває на південній межі ареалів свого поширення, місцями з поєднанням видів неморальної групи. Раритетний компонент флори судинних рослин у складі лісової рослинності південно-західної частини Чернігівського Полісся включає три рівні охорони (міжнародний рівень (2 види), національний (10 видів) та регіональний (9 видів)).

Ключові слова: Чернігівське Полісся, лісова рослинність, фіторізноманіття, рідкісні види, синтаксономія.

¹ кандидат біологічних наук, доктор педагогічних наук, професор,
завідувач кафедри біології
(Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка, м. Чернігів)
e-mail: mekhedolga@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9485-9139

² кандидат біологічних наук,
доцент кафедри екології, географії та природокористування
(Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка, м. Чернігів)
e-mail: vettavl@ukr.net
ORCID: 0000-0002-2960-8656

FLORISTIC AND COENOTIC SPECIFICS OF THE FOREST VEGETATION OF THE SOUTHWESTERN PART OF CHERNIHIV POLISSIA

O. B. Mekhed, S. V. Kyriienko

The article presents the floristic and coenotic features of the forest vegetation of the southwestern part of Chernihiv Polissia, which belongs to the Oster geobotanical district and occupies the western part of Chernihiv district, Chernihiv region. The features of its geomorphological structure, relief, hydrological conditions, and soil cover have led to the formation of various forest vegetation groups. Pine forests are represented by three associations, the Dicrano-Pinion sylvestris union, Pinetalia sylvestris order, Vaccinio-Piceetea class; oak-pine forests – the Querco robori-Pinetum association, the Pino-Quercion union, Quercetalia roboris order, Quercetea robori-petraeae class; hornbeam, hornbeam-oak forests – in the association Tilio cordatae-Carpinetum, union Carpinion betuli and maple-linden-oak and linden-oak forests in the association Mercurialo perennis-Quercetum roboris, union Querco roboris-Tilion cordatae are assigned to the order Carpinetalia betuli, class Carpino-Fagetea sylvaticae; alder forests – in the associations Carici elongatae-Alnetum, Ribo nigri-Alnetum, union Alnion glutinosae, order Alnetalia glutinosae, class Alnetea glutinosae. The work is based on materials from field research and scientific achievements in the period 2018–2023 in the territory of Chernihiv Polissia (the southwestern part of the research region within the Chernihiv region) in the forest funds of the forestry of the state enterprise “Chernihiv Forestry”. The floristic features of the research area are characterized by the predominance of typical boreal species, among which there is a part located on the southern border of their distribution areas, in places with a combination of species of the non-moral group. The rare component of the vascular plant flora in the forest vegetation of the southwestern part of Chernihiv Polissia includes three levels of protection (international level (2 species), national (10 species) and regional (9 species)).

Key words: Chernihiv Polissia, forest vegetation, phytodiversity, rare species, syntaxonomy.

Вступ

Лісова рослинність є важливим компонентом функціонування біосфери, стабілізації її функцій, підтримання екологічної рівноваги, є осередками локалізації та збереження біорозмаїття. Поширення різних груп лісових територій визначається кліматичними, едафічними й орографічними чинниками, ландшафтними особливостями та процесами лісовідновлення.

Лісовий фонд Чернігівської області станом на 1 січня 2024 р. – 747,9 тис. га, це становить 7% загальнодержавного лісового фонду, охоплює площу 23% території області, є третім за величиною площі серед усіх регіонів України. Але лісистість області є нерівномірною, у межах Чернігівського району досягає 26,1% (Головне ..., 2024).

Метою досліджень було вивчення флористичних і ценотичних особливостей лісової рослинності південно-західної частини Чернігівського Полісся. Для реалізації даної мети було поставлено такі завдання: навести загальну характеристику угруповань лісової рослинності, розкрити їхні ценотичні особливості, навести синтаксономічну структуру, провести аналіз флористичних особливостей і соціологічної цінності флористичного компоненту.

Матеріал і методи

В основу роботи покладені матеріали польових досліджень і напрацювань науковців у період 2018–2023 рр. на території Чернігівського Полісся (південно-західна частина регіону досліджень у межах Чернігівської області) у лісових фондах лісництв державного підприємства «Чернігівське лісове господарство» підприємства «Козелецьрайагролісгосп».

Для визначення синтаксонів було використано «Продромус рослинності України» (Дубина та ін., 2019). Назви синтаксонів наведені за синтаксономічними зведеннями Європи й України (Muscina et al., 2016). Назви таксонів судинних рослин наведені за Euro + MedPlantBase – номенклатурою для вищих рослин (The Euro ..., 2024).

Результати та обговорення

Південно-західну частину фізико-географічної області Чернігівського Полісся можна віднести до Дніпровсько-Нижньодеснянського та частини Козелецько-Куликівського фізико-географічних районів.

Дніпровсько-Нижньодеснянський фізико-географічний район охоплює південну акумулятивно-терасову частину межириччя річок Дніпра та Десни, а також заплаву та

борову тераси пониззя річки Десни. Західна межа проходить по Дніпру. Північна, східна та південна межі визначаються переходом піщаних місцевостей і низинних боліт до місцевостей, ґрунтоутворювальну основу яких становлять супіщані та лесоподібні піщано-суглинисті відкладення. Більша частина території піднімається над урізом води у Дніпрі на 10–20 м, максимальна висота досягає 55 м. У ґрунтовому покриві цієї частини регіону досліджень переважають піщані дерново-слабопідзолисті ґрунти, іноді оглеєні та лучні дерново-глеєві, а гідрологічний режим характеризується послабленим природним дренажем поверхневих і ґрунтових вод. Площа лісів району становить приблизно 46%, серед яких переважають соснові ліси, значно менше трапляється дубово-соснових, соснових і вільхових. Чорновільхові ліси трапляються досить часто, проте на незначній площі. У заплаві річки Десни варто частково відмітити наявність вербняків (Лукаш, 2008).

Козелецько-Куликівський фізико-географічний район обмежений із заходу заплавою Десни та смугою надзаплавних піщаних масивів, на південному сході межує з Лісостепом. Цей район являє собою акумулятивну терасову рівнину, у геологогеоморфологічній будові якої наявні чіткі сліди давньої дольодовикової долини пра-Дніпра. Абсолютні відмітки акумулятивної рівнини коливаються в межах 115–130 м. Перевищення поверхні району над рівнем Десни становить 15–30 м, а місцями 5–10 м (болота Смолянка та Трубіж). У гідрологічному відношенні район дренажують невеликі ліві притоки Десни, Остер,

Вздвижа, Вересоч, Вовчик, Смолянка. Ці річки мають невикористані долини та суцільні незаболочені заплави. Район відзначається високим заляганням мінералізованих ґрунтових вод і заболоченістю приблизно 12%. Ґрунти представлені типовими для Полісся піщаними та супіщаними дерново-підзолистими ґрунтами з різновидами сірих лісових і чорноземно-лучних, частково солонцюватих (содового засолення) ґрунтів. Значні площі охоплюють заболочені ґрунти та торф'яники. Ліси охоплюють приблизно 14% території району, серед лісових масивів переважають дубові ліси, яких у минулому було більше. У зниженнях рельєфу наявні мішані ліси з деревостаном із дуба, осики, берези та вільхи. Трапляються ділянки грабово-дубових і кленово-липово-дубових лісів. Соснові ліси трапляються по терасах річок (Лукаш, 2008).

Отже, фізико-географічні й едафічно-кліматичні умови регіону мають сприятливі чинники для формування різноманітних лісових рослинних угруповань.

Згідно з геоботанічним районуванням, територія досліджень належить до Остерського геоботанічного району, охоплює південно-західну частину Чернігівського району.

Лісова рослинність території досліджень вивчалася в межах 11 лісництв державного підприємства «Чернігівське лісове господарство» загальною площею 51 899,4 га, що становить 50,7% його лісового фонду (табл. 1). Також лісові території досліджень є включеними до складу комунального підприємства «Чернігівоблагроліс», яке має в регіоні дочірнє агролісогосподарське підприємство

Таблиця 1

Структура ДП «Чернігівське лісове господарство» у південно-західній частині Чернігівського Полісся

№	Назва лісництва	Площа, га	% від загальної площі ЧЛГ
1	Козелецьке	2 465,0	2,41
2	Придеснянське	3 387,5	3,31
3	Горбачівське	3 564,4	3,48
4	Косачівське	3 637,3	3,55
5	Моровське	3 667,7	3,58
6	Олишівське	3 719,0	3,63
7	Карпилівське	4 644,7	4,54
8	Остерське	4 801,3	4,69
9	Сорокошицьке	4 916,5	4,80
10	Бондарівське	6 372,0	6,23
11	Пакульське	10 724	10,48
Разом:		51 899,4	50,7

«Козелецьрайагролісгосп» загальною площею 13 359,5 га (КП ..., 2024; Чернігівське ..., 2024).

Лісова рослинність території досліджень характеризується різноманітним ценотичним складом, розподіл якого прямо залежить від місцезонашування в регіоні. Найбільш поширеними в регіоні є соснові ліси, які за ценотичним складом відображають основні риси поліських лісів, притаманних Чернігівському Полісся. У регіоні досліджень лісові території досить часто представлені різновіковими сосновими лісами, особливо на його півдні, де багато молодих насаджень, що за своїм флористичним складом є одноманітними, з розрідженим трав'яним покривом на окремих стадіях сукцесійних процесів (Яковенко, 2023).

У центральній і північній частинах території досліджень лісова рослинність значно різноманітніша – тут збереглися більш старі та флористично багаті соснові ліси, на багатших ґрунтах розміщуються дубово-соснові мішані ліси, окремими ділянками трапляються дубові та дубово-грабові ліси. Вільхові ліси поширені по всій території, але на незначній площі.

За результатами проведених обстежень лісових територій варто відзначити їхні флористичні особливості, які полягають у переважанні типових бореальних видів, серед яких є частина, що ростуть на південній межі ареалів свого поширення, місцями з поєднанням видів неморальної групи. Флористичний компонент лісових територій регіону досліджень, як і Лівобережного Полісся загалом, відзначається незначною кількістю ендемічних видів.

Аналіз синтаксономічної розмаїтності угруповань соснових лісів показав, що в їхньому складі є такі асоціації соснових лісів: *Dicrano-Pinetum* Preising et Knapp ex Oberd. 1957; *Molinio-Pinetum* Matuszkiewicz (1973) 1981; *Peucedano-Pinetum* Matuszkiewicz (1962) 1973, союзу *Dicrano-Pinion sylvestris* (Libbert 1933) Matuszkiewicz 1962, порядку *Pinetalia sylvestris* Oberd. 1957, класу *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939 (Danko, 2023).

Найпоширенішою асоціацією є *Dicrano-Pinetum*, на хвилястих і рівнинних ділянках рельєфу, де *Pinus sylvestris* L. досягає віку 70–80 років, із зімкненістю крон деревостанів на рівні 70–90%. Чагарниковий ярус іноді представлений *Sorbus aucuparia* L., а на зниженнях рельєфу – *Frangula alnus* Mill. У трав'яному покриві присутні боре-

альні види флори, насамперед *Lycopodium clavatum* L., *Orthilia secunda* (L.) House., *Pyrola rotundifolia* L., іноді – *Chimaphila umbellata* (L.) Nutt. Проективне покриття зелених мохів становить 70–80% із переважанням *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt. та *Dicranum rugosum* Hedw. Тут зростають такі рідкісні види, як *Scorzonera humilis* L. і *Psephellus sumensis* (Kalen.) Greuter, а також *Diphasiastrum complanatum* (L.) J. Holub – вид, який занесений до Червоної книги України (Дідух, 2009). Асоціації *Dicrano-Pinetum* присутні в межах більшості лісництв, а значні ділянки цих лісів поширені в центральній і північній частинах регіону та на терасі Дніпра.

Значно поширені на території угруповання асоціацій *Molinio-Pinetum*, які трапляються в центральній і північній частинах, де займають плескаті зниження на терасах і на межиріччі, являють собою вологі соснові ліси. Зімкненість крон деревостанів на рівні 80–90%, домінує *Pinus sylvestris*, часто з *Betula pendula* Roth. Чагарниковий ярус здебільшого відсутній або розріджений, з густотою до 40%, переважно з *Frangula alnus*. Проективне покриття трав'яного ярусу може доходити до 70%, зазвичай за участі *Molinia caerulea* (L.) Moench, *Vaccinium myrtillus* L., *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn., *Trientalis europaea* L., *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt. Місцями трапляється *Lycopodium annotinum* L. – вид, який занесений до Червоної книги України (Дідух, 2009). На більш освітлених, узлісних і відкритих лісових ділянках виявлені рідкісні види, які охороняються Бернською конвенцією, зокрема: *Pulsatilla pratensis* (L.) Mill. та *P. patens* (L.) Mill. Моховий покрив теж досить добре розвинутий, з покриттям до 80%, за участю *Pleurozium schreberi* та видів роду *Dicranum*.

На території невеликими ділянками трапляються угруповання, які представлені асоціаціями *Peucedano-Pinetum*, що формуються на свіжих ґрунтах. Вони характеризуються зімкненістю крон деревостанів на рівні 70–85%, де домінує *Pinus sylvestris*. У складі деревостанів також присутні *Betula pendula*, *Quercus robur*. Чагарниковий ярус представлений *Frangula alnus* зі щільністю на рівні 40%. У трав'яному ярусі, проективне покриття якого доходить до 40%, присутні такі види: *Peucedanum oreoselinum* (L.) Moench, *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce, *Vaccinium myrtillus*, *Convallaria majalis* L., також трапляється *Calamagrostis epigeios* (L.)

Roth. Моховий ярус із високим проєктивним покриттям (до 90%) представлений *Pleurozium schreberi* та видами роду *Dicranum*.

На південній частині межиріччя Десни та Дніпра, на ділянках із більш багатими ґрунтами формуються дубово-соснові ліси, що належать до асоціації *Quercus robori-Pinetum* Matuszkiewicz 1981, союзу *Pino-Quercion* Medwecka-Kornaš et al. in Szafer 1959, порядку *Quercetalia roboris* Tx. 1931, класу *Quercetea robori-petraeae* Br.-Bl. et Tüxen ex. Oberdorfer 1957. Ці угруповання за видовим складом є проміжними між лісами союзів *Carpinion betuli* та *Dicrano-Pinion sylvestris* і досить часто територіально розміщені між ними. Вони характеризуються поєднанням бореальних і неморальних видів. З неморальних видів флори найчастіше трапляються *Anemone nemorosa* L., *Carpinus betulus* L., *Corylus avellana* L., *Stellaria holostea* L., а з бореальних – *Melampyrum ptatense*, *Molinia caerulea*, *Pinus sylvestris*, *Vaccinium myrtilus*, *Fragaria vesca* L. Характерною їхньою ознакою є часте трапляння *Pteridium aquilinum*.

Невеликі фрагментарні ділянки чистих дубових лісів збереглися в Сорокошицькому лісництві та зростають смугами на схилах долини річки Суха Меша. У деревостанах домінує *Quercus robur*. У підліску переважає *Corylus avellana*, зрідка трапляються *Frangula alnus*, *Sorbus aucuparia*, *Rubus idaeus* L. Щільність чагарникового ярусу становить 40–60% Трав'яний покрив має проєктивне покриття 50–70%. Для угруповань віком понад 70 років характерна наявність видів судинних рослин (*Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *Neottia nidus-avis* (L.) Rich.), які занесені до Червоної книги України (Дідух, 2009).

Між центральною та північною частинами території досліджень лісова рослинність на свіжих суглинних і глинисто-піщаних ґрунтах представлена асоціацією *Tilio cordatae-Carpinetum* Traczyk 1962, що віднесена до союзу *Carpinion betuli* Issler 1931, порядку *Carpinetalia betuli* P. Fekarek 1968, класу *Carpino-Fagetea sylvaticae* Jakucs ex Passarge 1968. Чернігівське Полісся є східною межею для асоціації, до якої входять угруповання неморальних грабових, грабово-дубових лісів, які поширені фрагментарно на цій території. Якщо брати чисті насадження з *Carpinus betulus*, то зімкненість крон деревостанів спостерігається на рівні 90%, поодинокі трапляються *Quercus robur* або *Betula pendula*. У чагарниковому

ярусі присутні *Corylus avellana*, *Euonymus verrucosa* Scop., *Polygonatum officinale* L., *Crataegus ucrainica* Pojar. У трав'яному ярусі варто зазначити наявність *Maianthemum bifolium*, *Convallaria majalis*, *Pteridium aquilinum*, *Carex pilosa* Scop. та *Stellaria holostea* L. У грабово-дубових угрупованнях деревний ярус утворюють *Carpinus betulus* і *Quercus robur* у співвідношенні 60/30%. У чагарниковому ярусі представлені *Frangula alnus* і *Sorbus aucuparia*. У трав'яно-моховому ярусі присутні *Vaccinium vitis-idaea* L., *Lycopodium clavatum*, *Polytrichum commune* L.

Також варто зазначити поширення угруповань кленово-липово-дубових і липово-дубових лісів на схилах балок і долин річок території досліджень в асоціаціях *Mercurialo perennis-Quercetum roboris* Bulokhov et Solomeshch 2003, союзу *Quercus roboris-Tilion cordatae* Solomeshch et Laivins ex Bulokhov et Solomeshch in Bulokhov et Semenishchenkov 2015, порядку *Carpinetalia betuli*, класу *Carpino-Fagetea sylvaticae* (Яковенко, 2024).

Вільшняки, що були виявлені на території досліджень, трапляються досить часто, але на невеликій площі, у зниженнях і заболочених ділянках мезорельєфу. Вони належать до асоціацій *Carici elongatae-Alnetum* Schwickerath 1933, *Ribo nigri-Alnetum* Solińska-Górnicka (1975) 1987, союзу *Alnion glutinosae* Malcuit 1929, порядку *Alnetalia glutinosae* Tx. 1937, класу *Alnetea glutinosae* Br.-Bl. et Tx. ex Westhoff et al. 1946 (Синтаксономія ..., 2024).

Раритетний компонент флори судинних рослин у складі лісової рослинності регіону досліджень складається із трьох рівнів охорони, як-от: міжнародний рівень (2 види), національний (10 видів) і регіональний (9 видів) (Асмаковський і Карпенко, 2024).

До Додатка I Бернської конвенції включено два види (*Pulsatilla pratensis*, *P. patens*) (Соломаха, 2016).

Що стосується видів, які занесені до Червоної книги України, на території досліджень були виявлені такі: *Diphasiastrum complanatum*, *Lycopodium annotinum*, *Listera ovata* (L.) R.Br.; *Platanthera bifolia* (L.) Rich., *Neottia nidus-avis*, *Epipactis helleborine*, *Lilium martagon* L., *Carex umbrosa* Host, *Pulsatilla pratensis*, *Pulsatilla patens* (Дідух, 2009).

З переліку регіонально рідкісних видів судинних рослин, які підлягають охороні, у Чернігівській області, на території регіону досліджень, виявлено дев'ять

видів, а саме: *Polystichum aculeatum* (L.) Roth, *Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newm., *Dryopteris austriaca* (Jacq.) Woytnar ex Schinz et Thell., *Juniperus communis* L., *Anemone nemorosa*, *Pulmonaria angustifolia* L., *Potentilla alba* L., *Iris sibirica* L., (L.) Mill., *Fragaria moschata* Duch (Перелік ..., 2018).

Висновки

Лісова рослинність південно-західної частини Чернігівського Полісся формується під впливом низки чинників, які поєднують особливості геоморфологічної будови, рельєфу, гідрологічних умов, ґрунтового покриву регіону досліджень, які й зумовлюють формування різноманітних

угруповань. Вона представлена вісьма асоціаціями, п'ятьма союзами чотирьох порядків, що належать до чотирьох класів. Флористичні особливості території досліджень характеризуються переважанням типових бореальних видів, серед яких є частина, що знаходиться на південній межі своїх ареалів, частково поєднані з видами неморальної групи. Рідкісні види судинних рослин у складі лісової рослинності південно-західної частини Чернігівського Полісся представлені на трьох рівнях охорони: міжнародному (2 види), національному (10 видів) і регіональному (9 видів).

Список використаної літератури

- Асмаковський Є.В., Карпенко Ю.О. Флористичні знахідки рідкісних видів судинних рослин на лісових територіях нижньої частини басейну річки Снов. *Вісник Сумського Національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*. 2024. Вип. 1 (55). С. 26–34. <https://doi.org/10.32782/agrobio.2024.1.4>.
- Головне управління статистики в Чернігівській області [Електронний ресурс]. URL: <https://www.chernigivstat.gov.ua/> (дата звернення: 29.10.2024).
- Дубина Д. В., Дзюба Т. П., Ємельянова С.М., Багрікова Н.О та ін. Продромус рослинності України : монографія. Київ : Наукова думка, 2019. 782 с.
- КП «Чернігівоблагроліс» / Чернігівська обласна рада [Електронний ресурс]. URL: <https://kr.chor-lis.com.ua/about-us> (дата звернення: 25.10.2024).
- Лукаш О.В. Флора судинних рослин Східного Полісся: історія дослідження, конспект. Київ : Фітосоціоцентр, 2008. 436 с.
- Перелік регіонально рідкісних видів рослин Чернігівської області : додаток 1 до рішення дванадцятої сесії Обласної ради сьомого скликання від 28 березня 2018 р. № 32–12/VII [Електронний ресурс]. URL: https://chor.gov.ua/images/Razdely/Norm_docum/Rishennia/7_sklykannia/12_sesiya/Dodatok_32.pdf (дата звернення: 25.10.2024).
- Соломаха В.А. Судинні рослини Смарагдової мережі України під охоронною Бернської конвенції. Київ : Фітосоціоцентр, 2016. 152 с
- Філія «Чернігівське лісове господарство» : офіційна сторінка [Електронний ресурс]. URL: <https://chernigivlisgosp.com.ua/golovna.html> (дата звернення: 25.10.2024).
- Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я.П. Дідуха. Київ : Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
- Яковенко О.І. Лісова рослинність лесових «островів» Чернігівського Полісся. *Biota. Human. Technology*. Чернівці : НУЧК ім. Т.Г. Шевченка, 2023. № 2. С. 31–40. <https://doi.org/10.58407/bht.2.23.3>.
- Яковенко О.І. Лісова рослинність лесових «островів» Чернігівського Полісся. *Biota. Human. Technology*. Чернівці : НУЧК ім. Т.Г. Шевченка, 2024. № 3. С. 34–59. <https://doi.org/10.58407/bht.3.23.3>.
- Alnetea glutinosae* Br.-Bl. et. Tx. ex Westhoff et al. 1946. *Синтаксономія рослинності України* [Електронний ресурс]. URL: <https://geobot.org.ua/syntaxonomy/> (дата звернення: 30.10.2024).
- Danko H. Biotopes of sand of Chernihiv Polesie (Forest zone, Northern Ukraine). *Studia Quaternaria*. 2023. № 40 (2). Р. 77–91. <https://doi.org/10.24425/sq.2023.148034>.
- Mucina L., Bültmann H., Dierssen, K. et al. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities. *Applied Vegetation Science*. 2016. № 19 (1). Р. 3–264. <https://doi.org/10.1111/avsc.12257>.
- The Euro + Med Plant Base 2024 [Електронний ресурс]. URL: <https://europlusmed.org/> (дата звернення: 28.10.2024).

References

- Asmakovskyi, Y.V. & Karpenko, Yu.O. (2024). Florystychni znakhidky rідkisnykh vydiv sudynnykh roslyn na lisovykh terytorijakh nyzhnjoji chasty ny basejnu richky Snov [Floristic finds of rare species of Vascular Plants in the forest territories of the lower part of Snov River drainage basin]. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series "Agronomy and Biology"*, 55 (1), 26–34. <https://doi.org/10.32782/agrobio.2024.1.4> [in Ukrainian].
- Chervona knyha Ukrayiny. Roslynnyi svit [The Red Book of Ukraine. The Plants World] / Edited by Ya.P. Didukh (2009). Kyiv : Globalconsulting [in Ukrainian].
- Dubyna, D.V., Dziuba, T.P. & Yemelianova, S.M., et al. (2019). Prodrumus roslynnosti Ukrainy [Prodrumus vegetation of Ukraine]. Kyiv : Naukova dumka [in Ukrainian].
- Filia "Chernihivske lisove hospodarstvo" [Chernihiv forestry branch]. [Electronic resource] URL: <https://chernigivlisgosp.com.ua/golovna.html> (access date 25.10.2024) [in Ukrainian].
- Holovne upravlinnia statystyky u Chernihivskii oblasti [The Main Department of Statistics in Chernihiv Region]. [Electronic resource] URL: <https://www.chernigivstat.gov.ua> (access date 29.10.2024) [in Ukrainian].
- Komunalne pidpryjemstvo "Chernihivoblagroli" [Communal Enterprise "Chernihivoblagroli"]. [Electronic resource] URL: <https://kp.chor-lis.com.ua/about-us> (access date 25.10.2024) [in Ukrainian].
- Lukash, O.V. (2008). Flora sudynnykh roslyn Skhidnoho Polissia: Istoriia doslidzhennia, konspekt [Flora of vascular plants of Eastern Polissia: Research history, summary]. Kyiv: Phytosociocenter [in Ukrainian].
- Perelik rehionalno rідkisnykh vydiv roslyn Chernihivskoi oblasti: Dodatok 1 do rishennia dvaniadsiatoi sesii oblasnoi rady [List of regionally rare plant species of Chernihiv region: Appendix 1 to the decision of the 12th session of the regional council]. [Electronic resource] URL: https://chor.gov.ua/images/Razdely/Norm_docum/Rishennia/7_skykannia/12_sesiya/Dodatok_32.pdf (access date 25.10.2024) [in Ukrainian].
- Solomakha, V.A. (2016). Cudynni roslyny Smarahdovoi merezhi Ukrainy pid okhoronnoiu Bernskoi konventsii [Exotic plants of the Emerald Network of Ukraine under the protection of the Berne Convention]. Kyiv : Phytosociocenter [in Ukrainian].
- Yakovenko, O.I. (2023). Heoinformatsiyni analiz zmin lisovoi roslynnosti lesovykh "ostroviv" Chernihivskoho Polissia [Geoinformational analysis of the Chernihiv Polesie Loess "Islands" forest vegetation changes]. *Biota. Human. Technology*, (2), 31–40. <https://doi.org/10.58407/bht.2.23.3> [in Ukrainian].
- Yakovenko, O.I. (2024). Lisova roslynnistj lesovykh "ostroviv" Chernihivskogho Polissja [The Forest Vegetation of the Chernihiv Polissia Loess "Islands"]. *Biota. Human. Technology*, (3), 34–59. <https://doi.org/10.58407/bht.3.23.3> [in Ukrainian].
- Alnetea glutinosae* Br.-Bl. et. Tx. ex Westhoff et al. 1946. Syntaksonomiia roslynnosti Ukrainy [Syntaxonomy of vegetation of Ukraine]. [Electronic resource] URL: <https://geobot.org.ua/syntaxonomy/> (access date 30.10.2024) [in Ukrainian].
- Danko, H. (2023). Biotopes of sand of Chernihiv Polesie (Forest zone, Northern Ukraine). *Studia Quaternaria*, 40 (2), 77–91. <https://doi.org/10.24425/sq.2023.148034> [in English].
- Mucina, L., Bültmann, H., Dierssen, K. & et al. (2016). Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities. *Applied Vegetation Science*, 19 (1), 3–264. <https://doi.org/10.1111/avsc.12257> [in English].
- The Euro + Med Plant Base 2024. [Electronic resource] URL: <https://europlusmed.org/> (access date 28.10.2024) [in English].

Отримано: 22.01.2025

Прийнято: 06.02.2025



УДК 42.34 (477.43)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.7>

ФАУНА ДОЩОВИХ ЧЕРВІВ В УРБАНІЗОВАНИХ БІОТОПАХ МІСТА ЖИТОМИРА

В. В. Мороз¹, О. В. Гарбар²

Урбанізація нині є однією з основних загроз для біорозмаїття, моніторинг фауни урбанізованих територій надає цінну інформацію щодо впливу трансформованого людиною середовища на різноманітність біоти. Оскільки дощові черви є одними з найпоширеніших представників педофауни та перебувають у постійному контакті із ґрунтом, вони чутливо реагують на негативні зміни його стану та є індикатором якості середовища. У статті наведено результати дослідження видового складу та структури комплексів дощових червів в урбоєкосистемі міста Житомира. Установлено, що фауна дощових червів досліджуваних біотопів міста налічує десять видів родини Lumbricidae: *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826), *A. rosea* (Savigny, 1826), *A. trapezoides* (Duges, 1828), *Lumbricus terrestris* (Linnaeus, 1758), *L. castaneus* (Savigny, 1826), *L. rubellus* (Savigny, 1826), *Dendrobaena octaedra* (Savigny, 1826), *Octolasion lacteum* (Örley, 1885), *Eiseniella tetraedra* (Savigny, 1826) та *Eisenia fetida* (Savigny, 1826). Виявлені види мають різний набір морфологічних пристосувань до життя у ґрунтовому середовищі та нерівномірно представлені у вибірках. Фоновими видами є *A. caliginosa*, *A. rosea* та *L. terrestris*, які представлені в більшості вибірок. На досліджуваних рекреаційних ділянках найчисленнішим виявився *A. caliginosa*, проте найбільшої кількості він досягає в центральних паркових зонах міста. У деяких вибірках домінантом або співдомінантом є *L. terrestris*. *A. rosea* найбільшої чисельності досягає в рекреаційних зонах поблизу берегів водойм, тоді як у центральних паркових зонах представлений лише одиничними екземплярами. Інші види не досягають тут високої чисельності. У дворах житлових забудов і біля них максимальна чисельність виявлених люмбрицид в окремих вибірках сягала до 8 особин на пробу – у більшості вибірок (92,45%) домінував *A. caliginosa*, у 7,55% вибірок – *A. rosea*. У досліджуваних біоценозах, розташованих поблизу промислових підприємств, чисельність виявлених видів дощових червів була незначною.

Ключові слова: Lumbricidae, видовий склад, біорізноманіття, урбоєкосистема.

¹ здобувачка третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
ОНП «Зоологія» кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: vikamoroz14@ukr.net
ORCID: 0000-0003-1676-5182

² доктор біологічних наук, професор,
завідувач кафедри екології та географії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: o.v.harbar@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4357-4525

FAUNA OF EARTHWORMS IN THE URBANIZED BIOTOPES OF THE CITY OF ZHYTOMYR

V. V. Moroz, O. V. Harbar

Today, urbanization is one of the main threats to biodiversity, and monitoring the fauna of urbanized areas provides valuable information about the impact of the human-transformed environment on the diversity of biota. Since earthworms are one of the most common representatives of pedofauna and are in constant contact with the soil, they sensitively react to negative changes in its condition and are an indicator of the quality of the environment. The article presents the results of a study of the species composition and structure of earthworm complexes in the urban ecosystem of the city of Zhytomyr. It was established that the fauna of earthworms in the studied biotopes of the city includes ten species of the Lumbricidae family: *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826), *A. rosea* (Savigny, 1826), *A. trapezoides* (Duges, 1828), *Lumbricus terrestris* (Linnaeus, 1758), *L. castaneus* (Savigny, 1826), *L. rubellus* (Savigny, 1826), *Dendrobaena octaedra* (Savigny, 1826), *Octolasion lacteum* (Örley, 1885), *Eiseniella tetraedra* (Savigny, 1826) and *Eisenia fetida* (Savigny, 1826). The identified species have a different set of morphological adaptations to life in the soil environment and are unevenly represented in the samples. The background species are *A. caliginosa*, *A. rosea* and *L. terrestris*, which are represented in the vast majority of samples. *A. caliginosa* turned out to be the most numerous in the investigated recreational areas, but it reaches the greatest number in the central park areas of the city. In some samples, *L. terrestris* is dominant or co-dominant. *A. rosea* reaches its greatest abundance in recreational zones near the shores of reservoirs, while in central park zones it is represented only by single specimens. Other species do not reach high numbers here. In the yards of residential buildings and near them, the maximum number of identified lumbricids in individual samples reached 8 individuals per sample – in the vast majority of samples (92,45%) *A. caliginosa* was dominant, in 7,55% of samples – *A. rosea*. In the studied biocenoses, located near industrial enterprises, the number of detected species of earthworms was insignificant.

Key words: Lumbricidae, species composition, biodiversity, urban ecosystem.

Вступ

Погіршення, що прогресує, стану навколишнього середовища з кожним роком призводить до виникнення численних екологічних проблем. Однією з таких є урбанізація, яка, будучи основною рушійною силою змін землекористування, негативно впливає на біорозмаїття (Консерсіон et al., 2015; Войчун та ін., 2016).

Найбільше від впливу урбанізації потерпають міські території, оскільки на них сконцентрована велика кількість населення та відбувається розбудова. Стрімке поширення урбанізації пов'язано насамперед зі збільшенням енергетичних потреб, удосконаленням транспортних розв'язок, покращенням системи комунальних послуг і облаштуванням рекреаційних зон із метою забезпечення вищого рівня комфорту життя населення (Стернік, 2017).

Урбанізовані території, як складні багатофункціональні природно-антропогенні геосистеми, поєднують максимальну різноманітність впливів антропогенного характеру на природні екосистеми, зокрема й на ґрунт (Grimm et al., 2008; Стойко і Койнова, 2012; Стернік і Мельник, 2016). Ґрунтовий покрив виконує важливі біосферні функції

та є одним із найбільш чутливих компонентів навколишнього середовища, трансформація якого внаслідок різних антропогенних забруднень призводить до незворотних змін структури природних популяцій флори та фауни (Мірзак, 2001). Ґрунти міських територій унаслідок урбанізації зазнають більш-менш виражених порушень, зокрема й ущільнення, деградацію, зміни покриву та землекористування (Тітенко, 2006; Ooms et al., 2020).

Для урбанізованих міських територій характерними є техноземи, які мають мозаїчне забарвлення, відсутність виражених горизонтів і підвищену щільність. Більшості міських урбоєкосистем притаманні порушення природних зв'язків між компонентами довкілля, що призводить до зміни морфологічної будови ґрунтового профілю, його хімічного складу та зміни середовища існування педобіонтів (Криштоп і Волощенко, 2013; Стернік і Мельник 2016; Caruso et al., 2017).

Міські ґрунти, на відміну від природних і сільськогосподарського призначення, систематично зазнають інтенсивного антропогенного навантаження. За умов інтенсивного антропогенного пресингу значна частина едафічного покриву, тією чи іншою мірою,

зазнає змін, що ускладнює або унеможливає виконання ґрунтом його функцій (Маловічко і Головня, 2008; Криштоп і Волощенко, 2013). За даними (Стернік, 2017), площі деградованих ґрунтів щороку збільшуються в середньому на 90–100 тис. га.

Одним із поширених видів антропогенного забруднення едафотопів під час урбанізації є надходження до ґрунтових горизонтів важких металів, які характеризуються високим рівнем токсичності та канцерогенності. Їх знаходження у ґрунтових горизонтах, навіть у невеликих кількостях, украй негативно впливає на життєздатність живих організмів на різних рівнях їх організації (Гулько, 2011).

Найбільш тісно контактують із ґрунтовим середовищем педобіоти, які, перебуваючи в постійному контакті із ґрунтом, безпосередньо реагують на негативні зміни його стану. Однією з поширених на території Палеарктики груп едафічних безхребетних тварин є дощові черви родини Lumbricidae. За різними даними (Paoletti, 1999; Spurgeon & Hopkin, 1999; Fründ et al., 2004; Römbke et al., 2005; Жуков та ін., 2007; Tischer, 2009), вони є зручними індикаторами стану навколишнього середовища, оскільки відзначаються відносно високою чисельністю в поверхневому шарі ґрунту (Paoletti, 1999; Römbke et al., 2005; Tischer, 2008; Fründ et al., 2010). Їх широко використовують як біоіндикатори під час проведення оцінювання стану ґрунтів, забруднених важкими металами, радіонуклідами, нафтопродуктами та пестицидами, а також в екотоксикологічному моделюванні (Peijnenburg & Vijver, 2009; Fründ et al., 2010).

Порівняно з іншими педобіотами, лямбріциди є найбільш чутливими до рівня забруднення середовища, що зумовлено їхніми морфологічними особливостями та способом живлення (Morgan & Morgan, 1999; Жуков та ін., 2007; Стернік і Мельник, 2016). За даними (Spurgeon & Hopkin, 1999; Curry, 2004; Lanno et al., 2004; Caruso et al., 2017; Vlasenko et al., 2020), на життєздатність і видову структуру комплексів дощових червів впливають фізико-хімічні властивості ґрунту, тривалість будівництва та якість середовища селітебних територій.

Дощові черви є важливою структурною ланкою наземних екосистем – за допомогою біотурбацій вони позитивно впливають на фізичні та біологічні властивості ґрунту (Joschko et al., 2006; Шаталін, 2017). Своєю діяльністю вони збільшують простір ґрун-

тових шпар, покращують текстуру ґрунтових горизонтів, подрібнюють і транспортують органічні матеріали, забезпечують рослини поживними речовинами, переміщують насіння рослин у профілі ґрунту, а також сприяють зростанню активності мікробіального угруповання (Spurgeon & Hopkin, 1999; Sheehan et al., 2006; Шаталін, 2017). Відповідно до досліджень (Fründ et al., 2010), дощові черви можуть вказувати на стан ґрунту шляхом зміни чисельності та видової структури, поведінки під час контакту із ґрунтовим субстратом (перевага, уникнення, активність), а також рівня накопичення хімічних речовин в організмі.

Зменшення популяцій лямбріцидів або їх зникнення з окремих територій, безсумнівно, негативно позначається на структурі едафотопів і їхніх властивостях. З метою аналізу стану екосистем актуальним завданням є вивчення структури популяцій дощових червів на територіях, які зазнають впливу урбанізації.

Мета дослідження полягала у вивченні впливу міських урбанізаційних процесів на кількісну та якісну структуру угруповань дощових червів у біотопах міста Житомира.

Матеріал і методи

Як матеріал дослідження використано власні збори дощових червів, виконані протягом весняно-літнього періоду 2024 р. в періоди найбільшої активності тварин (кінець березня – серпень). Матеріал збирали вручну методом розкопок і ручного розбирання проб ґрунту об'ємом 0,125 м³ в антропогенно трансформованих біотопах міста Житомира (території рекреаційного призначення (береги водойм, парки, сквери), ділянки поблизу автодоріг і житлових забудов, біоценози поблизу промислових підприємств, що діють). Відбір проб проводився до нижньої межі, де знаходилися черви. Загалом зібрано й опрацьовано 288 ґрунтових проб.

Відібраних червів фіксували у 70–80% етиловому спирті або 4% формаліні. Видову приналежність установлювали за загальноприйнятою методикою відповідно до наявних рекомендацій (Жуков та ін., 2007).

Дослідження кількісного та видового складу дощових червів проводилося на базі кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка.

З метою проведення статистичного аналізу даних використано програмний пакет STATISTICA.

Результати й обговорення

Відповідно до отриманих даних, фауна дощових черв'яків досліджуваних біотопів міста налічує десять видів, належних до родини Lumbricidae: *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826), *A. rosea* (Savigny, 1826), *A. trapezoides* (Duges, 1828), *Lumbricus terrestris* (Linnaeus, 1758), *L. castaneus* (Savigny, 1826), *L. rubellus* (Savigny, 1826), *Dendrobaena octaedra* (Savigny, 1826), *Octolasion lacteum* (Örley, 1885), *Eiseniella tetraedra* (Savigny, 1826) та *Eisenia fetida* (Savigny, 1826), які нерівномірно представлені у проаналізованих вибірках. Кожний із виявлених видів черв'яків характеризується власним набором морфологічних пристосувань, які виникли у них як пристосування до конкретних умов середовища їх перебування в результаті тривалого природного відбору. Це зумовлює відмінності в можливостях освоєння різними видами ґрунтобіотопів.

Фоновими на досліджуваних територіях міста були три види – *A. caliginosa*, *A. rosea* та *L. terrestris*, які представлені в більшості вибірок. Ці види, згідно з наявними даними (Жуков та ін., 2007), характеризуються широкими межами екологічної толерантності та належать до космополітичних видів. Їх знаходження в біотопах, які зазнають систематичного урбанізаційного впливу, підтверджується також низкою інших досліджень (Мірзак, 2001; Жуков та ін., 2007; Стойко і Койнова, 2012; Стернік, 2017).

Міські паркові екосистеми зазнають комплексного антропогенного пресингу за такими основними векторами, як порушення міською забудовою ґрунтового покриву, фрагментація оселищ автодорогами та спорудами, витоптування та рекреаційний вплив (Мірошник та ін., 2023). Рекреаційне навантаження на біотопи супроводжується частковим або цілковитим порушенням рослинного покриву ґрунту та його підстилки внаслідок систематичного потоку відвідувачів і відпочивальників (Білецький, 2016). Окрім того, підвищується ступінь ущільненості ґрунту та його забруднення неорганічними й органічними речовинами, що призводить до нерівномірного розподілу видів дощових черв'яків у вибірках і деякого зменшення їх чисельності в окремих місцях. На досліджуваних рекреаційних територіях міста досить численним виявився *A. caliginosa* (до 8 особин у пробі), проте найбільші його популяції приурочені до центральних паркових зон міста

Житомира. У деяких вибірках домінантом або співдомінантом є *L. terrestris* (до 6 особин у пробі), який, згідно з наявними даними (Жуков та ін., 2007), в антропогенно трансформованих біоценозах скверів, лісопарків і ботанічних садів може досягати високої щільності (до 50 екз./м²). Найбільшої кількості *A. rosea* досягає у біоценозах місць відпочинку поблизу берегів водойм (до 5 особин у пробі), тоді як у центральних паркових зонах представлений лише одиничними екземплярами. Такі відмінності трапляння даного виду у вибірках можуть бути пов'язані з різним ступенем зволоженості ґрунту та рівнем антропогенного впливу на ґрунтовий покрив, оскільки береги водойм, порівняно з парковими зонами, розташованими в центрі міста, зазнають меншого антропогенного впливу та характеризуються швидшою відновлюваністю (Lanno et al., 2004; Römbke et al., 2005). Отже, несприятливі умови існування в одних біотопах можуть призводити до зникнення з них деяких видів дощових черв'яків і їх зберігання в інших, де комплекс абіотичних умов є сприятливішим для життєздатності люмбрицидів (Жуков та ін., 2007).

Види *A. trapezoides*, *D. octaedra*, *O. lacteum*, *E. fetida* трапляються в паркових зонах лише в окремих вибірках і не досягають високої чисельності. Трапляння епігейних видів *D. octaedra* й *E. fetida* і ендегейного *O. lacteum* приурочене до біоценозу листяних лісових насаджень гідропарку, де поширені сірі лісові ґрунти й антропогенний вплив є незначним.

Унаслідок роботи автотранспортних засобів у ґрунтах накопичуються дрібнодисперсні тверді частинки, оксиди та діоксиди вуглецю, оксиди азоту, органічні мастила, розчинники та важкі метали (Cr, Cd, Ni, Pb, Zn, As, Hg) (Маловічко і Головня, 2008; Стойко і Койнова, 2012). Викиди останніх, навіть у невеликих концентраціях, є досить токсичними та можуть впливати на хіміко-біологічні властивості едафотопу. Формування антропогенних біоценозів унаслідок автотранспортних викидів спричиняє зміну структури угруповань педофауни (Стойко і Койнова, 2012).

У біоценозах, розташованих поблизу автошляхів, відбувається перебудова структури комплексу люмбрицидів у напрямі зменшення їх чисельності (Harbar et al., 2024). Однією із причин є забруднення едафічного середовища поліметалевим пилом у комплексі з діоксидом сірки та сполуками

свинцю. Панівним видом біоценозів, розташованих уздовж автодоріг міста, був *A. caliginosa* (до 18 особин у вибірці), меншою частотою трапляння відзначався *A. rosea* (до 15 особин у вибірці). Більш стенобіонтні види – *L. terrestris* і *A. trapesoides* траплялися рідше та були представлені одиничними екземплярами. Порівняно зі стенобіонтними видами, еврибіонтні характеризуються меншою чутливістю до автотранспортного навантаження, тому зазвичай останні реагують на такий вплив лише зміною чисельності, тоді як стенобіонтні види практично зникають із зони впливу чинника.

У дворах житлових забудов і біля них максимальна чисельність виявлених дощових черв'яків в окремих вибірках сягала до 8 особин. Водночас у більшості вибірок (92,45%) панівним видом був *A. caliginosa*, лише в 7,55% вибірок – *A. rosea*. Результатом антропогенного впливу на біотопи поблизу житлових забудов є ущільнення верхніх шарів ґрунту населенням і автомобілями. Унаслідок такого тривалого впливу на окремих ділянках зникає рослинність, що унеможливає існування на таких ділянках видів черв'яків, які живляться рослинним опадом (Мірзак, 2001; Жуков та ін., 2007; Стернік і Мельник, 2016). На окремих ділянках систематично проводиться ручний обробіток ґрунту з метою висадження рослинності, що призводить до порушення природної цілісності ґрунтового покриву та зниження біорозмаїття педобіонтів (Мірзак, 2001; Стойко і Койнова, 2012).

Унаслідок діяльності промислових підприємств в атмосферне повітря викидається велика кількість забруднюючих речовин (діоксид сірки й азоту, оксид вуглецю, хлор, вуглеводи, сажа), частка яких осідає на ґрунтах, що призводить до зміни їхніх природних властивостей. Це може негативно позначатися на структурі угруповань педобіонтів і їх чисельності (Стойко і Койнова, 2012). У досліджуваних біотопах, розташованих поряд із промисловими підприємствами міста, максимальна чисельність люмбрицидів у вибірках не перевищувала 7 особин. Переважав *A. caliginosa*, який траплявся майже в усіх відібраних

пробах ґрунту (82,5%), тоді як *A. rosea* був представлений у 55,0% проб. Чисельність інших видів (*A. trapesoides*, *L. Terrestris*, *L. castaneus*) на досліджуваних ділянках була незначною. Зменшення видового розмаїття дощових черв'яків є цілком характерним для біоценозів поблизу промислових підприємств, автозаправних станцій, автомобільних доріг і залізничних колій, що підтверджується низкою досліджень (Joschko et al., 2006; Ernst et al., 2008; Eggleton et al., 2009; Стернік і Мельник, 2016; Гарбар та ін., 2023; Harbar et al., 2024).

Висновки

Проаналізовано видовий склад, чисельність і структуру домінування комплексів дощових черв'яків в урбанізованих біотопах міста Житомира. Установлено, що фауна дощових черв'яків досліджуваних біотопів міста налічує десять видів: *A. caliginosa* (Savigny, 1826), *A. rosea* (Savigny, 1826), *A. trapezoides* (Dugesi, 1828), *L. terrestris* (Linnaeus, 1758), *L. castaneus* (Savigny, 1826), *L. rubellus* (Savigny, 1826), *D. octaedra* (Savigny, 1826), *O. lacteum* (Örley, 1885), *E. tetraedra* (Savigny, 1826), *E. fetida* (Savigny, 1826). У більшості вибірок панівним є *A. caliginosa*, в окремих – *A. rosea* та *L. terrestris*.

У досліджуваних біоценозах рекреаційних територій найчисленнішим є *A. caliginosa*, домінантом або співдомінантом – *L. terrestris*. Вид *A. rosea* найбільшої кількості досягає в біоценозах місць відпочинку поблизу берегів водойм, у центральних паркових зонах – представлений одиничними екземплярами, що може бути пов'язано з різним ступенем зволоженості ґрунту та рівнем впливу на ґрунтовий покрив. У дворах житлових забудов і поблизу них максимальна чисельність дощових черв'яків в окремих вибірках не перевищувала 8 особин. Видову структуру даних біотопів утворювали *A. caliginosa*, *A. rosea*, *A. trapesoides* та *L. terrestris*, останні з яких були представлені одиничними особинами. У біоценозах, розташованих поблизу промислових підприємств, *A. caliginosa* траплявся у 82,5% відібраних проб, *A. rosea* – у 55,0% проб. Чисельність інших видів на досліджуваних ділянках була незначною.

Список використаної літератури

Білецький Ю.В. Угрупування ґрунтової мезофауни соснових лісів Шацького національного природного парку та їх антропогенні зміни : дис. ... канд. біол. наук : 03.00.16. Львів, 2016. 160 с.

Біоіндикаційна оцінка стану паркових екосистем міста Києва / Н.В. Мірошник та ін. Київ : Академперіодика, 2023. 200 с. <https://doi.org/10.15407/akademperiodyka.488.200>.

- Войчун Н.І., Андрейчук Ю.М., Жданюк Б.С. Антропогенний вплив на природне середовище. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2016. № 1–2 (25). С. 77–82.
- Гарбар О.В., Мороз В.В., Гарбар Д.А., Ворончук Л.І., Даниловська Н.Д. Структура угруповань дощових черв'яків в урбанізованих біотопах Центрального Полісся. *GEO & BIO*. 2023. Т. 24. С. 173–182. <https://doi.org/10.15407/gb2412>.
- Гуницький С.О. Кадмій у ґрунтах м. Дніпродзержинськ. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Медицина*. 2011. № 2. Т. 1. С. 24–30. <https://doi.org/10.15421/021104>.
- Жуков О.В., Пахомов О.Є., Кунах О.М. Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. Дощові черв'яки (Lumbricidae) : монографія / за заг. ред. проф. О.Є. Пахомова. Дніпропетровськ : Дніпропетровський національний університет, 2007. 371 с.
- Криштоп Є.А., Волощенко В.В. Міські ґрунти як невід'ємний елемент урбанізованих і техногенно забруднених територій. *Вісник Харківського національного аграрного університету імені В.В. Докучаєва*. 2013. № 2. С. 200–206.
- Маловічко О.В., Головня Ю.П. Екологічний аналіз наслідків стану забруднення автомагістралей Києва. *Вісник Національного авіаційного університету*. 2008. Т. 37. № 4. С. 89–92. <https://doi.org/10.18372/2306-1472.37.1639>.
- Мірзак О.В. Екологічні особливості едафотопів урбанізованих територій степової зони України (на прикладі м. Дніпропетровська) : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.16. Дніпропетровськ, 2001. 19 с.
- Стернік В.М. Біотична активність урбоедафотопів міста Рівне : дис. ... канд. біол. наук : 03.00.16. Рівне, 2017. 179 с.
- Стернік В.М., Мельник В.Й. Актуальність досліджень дощових черв'яків у біоіндикації стану урбоедафотопів міста Рівне. *Збірник наукових праць Харківського національного педагогічного університету імені Г.С. Сковороди. Біологія та валеологія*. 2016. № 18. С. 169–180. <https://doi.org/10.5281/zenodo.167417>.
- Стойко С.М., Койнова І.Б. Сучасні види антропогенного впливу на життєве середовище. *Український географічний журнал*. 2012. № 1. С. 50–57.
- Тітенко Г.В. Оцінка екологічного стану міських ґрунтів як засіб оптимізації території. *Вісник Сумського державного університету. Технічні науки*. 2006. № 5 (89). С. 149–152.
- Шаталін Д.Б. Дощові черв'яки (Lumbricidae) лісових та урбоекосистем Степового Придніпров'я: структурно-функціональна організація угруповань та екологічні аспекти вермикультури : дис. ... канд. с.-г. наук : 03.00.16. Дніпро, 2017. 187 с.
- Caruso T., Migliorini M., Rota E., Bargagli R. Highly diverse urban soil communities: Does stochasticity play a major role? *Applied Soil Ecology*. 2017. Vol. 110. P. 73–78. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.10.012>.
- Concepción E.D., Moretti M., Altermatt F., Nobis M.P., Obrist M.K. Impacts of urbanisation on biodiversity: the role of species mobility, degree of specialisation and spatial scale. *Oikos*. 2015. Vol. 124. № 12. P. 1571–1582. <https://doi.org/10.1111/oik.02166>.
- Curry J. Factors Affecting the Abundance of Earthworms in Soils. *Earthworm ecology*. 2004. Vol. 9. P. 91–113. <https://doi.org/10.1201/9781420039719.pt3>.
- Eggleton P., Inward K., Smith J., Jones D.T., Sherlock E. A six-year study of earthworm (Lumbricidae) populations in pasture woodland in southern England shows their responses to soil temperature and soil moisture. *Soil Biology and Biochemistry*. 2009. Vol. 41. P. 1857–1865. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.06.007>.
- Ernst G., Zimmermann S., Christie P., Frey B. Mercury, cadmium and lead concentrations in different ecophysiological groups of earthworms in forest soils. *Environmental Pollution*. 2008. Vol. 156. P. 1304–1313. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.03.002>.
- Fründ H.-C., Egbert E., Dumbek G. Spatial distribution of earthworms [Lumbricidae] in recultivated soils of the Rhenish lignite-mining area, Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2004. Vol. 167. Iss. 4. P. 494–502. <https://doi.org/10.1002/jpln.200421372>.
- Fründ H.-C., Graefe U., Tischer S. Earthworms as Bioindicators of Soil Quality. *Biology of Earthworms*. 2010. Vol. 24. P. 261–278. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14636-7_16.
- Grimm N.B., Faeth S.H., Golubiewski N.E., Redman C.L., Wu J., Bai X., Briggs J.M. Global change and the ecology of cities. *Science*. 2008. Vol. 319. P. 756–760. <https://doi.org/10.1126/science.1150195>.

- Harbar O., Moroz V., Harbar D., Vyskushenko D., Kratiuk O. Spatial variation of earthworm communities in the motorway proximity. *Studia Biologica*. 2024. № 18 (2). P. 157–168. <https://doi.org/10.30970/sbi.1802.768>.
- Joschko M., Fox C.A., Lentzsch P., Kiesel J., Hierold W., Krück S., Timmer J. Spatial analysis of earthworm biodiversity at the regional scale. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2006. Vol. 112. № 4. P. 367–380. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.08.026>.
- Lanno R., Wells J., Conder J., Basta N. The Bioavailability of Chemicals in Soil for Earthworms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2004. Vol. 57. № 1. P. 39–47. <https://doi.org/10.1002/chin.200418292>.
- Morgan J.E., Morgan A.J. The accumulation of metals (Cd, Cu, Pb, Zn and Ca) by two ecologically contrasting earthworm species (*Lumbricus rubellus* and *Aporrectodea caliginosa*): implications for ecotoxicological testing. *Applied Soil Ecology*. 1999. Vol. 13. № 1. P. 9–20. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(99\)00012-8](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(99)00012-8).
- Ooms A., Dias A.T.C., Oosten van A.R., Cornelissen J.H.C., Ellers J., Berg M.P. Species richness and functional diversity of isopod communities vary across an urbanisation gradient, but the direction and strength depend on soil type / A. Ooms et al. *Soil Biology and Biochemistry*. 2020. Vol. 148. P. 107851. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107851>.
- Paoletti M.G. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 1999. Vol. 74. № 1–3. P. 137–155. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00034-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00034-1).
- Peijnenburg W.J.G.M., Vijver M.G. Earthworms and Their Use in Eco(toxico)logical Modeling. *Ecotoxicology Modeling*. 2009. P. 177–204. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0197-2_7.
- Römbke J., Jänsch S., Didden W. The use of earthworms in ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2005. Vol. 62. № 2. P. 249–265. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.03.027>.
- Sheehan C., Kirwan L., Connoll J., Bolger T. The effects of earthworm functional group diversity on nitrogen dynamics in soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 2006. Vol. 38. № 9. P. 2629–2636. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.04.015>.
- Spurgeon D.J., Hopkin S.P. Tolerance to Zinc in Populations of the Earthworm *Lumbricus rubellus* from Uncontaminated and Metal-Contaminated Ecosystems. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 1999. Vol. 37. № 3. P. 332–337. <https://doi.org/10.1007/s002449900522>.
- Tischer S. Lumbricidae communities in soil monitoring site differently managed and polluted with heavy metals. *Polish Journal of Ecology*. 2008. Vol. 56. P. 635–646.
- Vlasenko R., Khomiak I., Harbar O., Demchuk N. Lumbricides as a bio-indicators of the influence of electrical transmission line in the conditions of Ukrainian Polissia. *Travaux du Muséum National d'Histoire Naturelle "Grigore Antipa"*. 2020. № 63 (1). P. 7–18. <https://doi.org/10.3897/travaux.63.e51640>.

References

- Bilec'kyj, Ju.V. (2016). Ughrupovannja gruntovoi mezofauny sosnovykh lisiv Shac'koghho nacional'nogho pryrodnogho parku ta jikh antropoghenni zminy [Groups of soil mesofauna of pine forests of the Shatskyi National Nature Park and their anthropogenic changes]. Lviv [in Ukrainian].
- Miroshnyk, N.V., Likhanov, A.F., Matjashuk, R.K., Mazura, M.Ju., Shupova, T.V., & Ghonchar, Gh.Ju. (2023). Bioindykacijna ocinka stanu parkovykh ekosystem mista Kyjeva [Bioindicative assessment of the state of park ecosystems of the city of Kyiv]. Kyiv. <https://doi.org/10.15407/akademperiodyka.488.200> [in Ukrainian].
- Vojchun, N.I., Andrejchuk, Ju.M., & Zhdanjuk, B.S. (2016). Antropoghennyj vplyv na pryrodne seredovyshhe [Anthropogenic impact on the natural environment]. *Ljudyna ta dovkillja. Problemy neoekologiji* [Man and environment. Problems of neoecology], 1–2 (25), 77–82 [in Ukrainian].
- Gharbar, O., Moroz, V., Gharbar, D., Voronchuk, L., & Danylovs'jka, N. (2023). Struktura ughrupuvanj doshhovykh cherviv v urbanizovanykh biotopakh Central'nogho Polissja [The structure of earthworm communities in urbanised biotopes of the Central Polissia]. *GEO&BIO*, 24, 173–182. <https://doi.org/10.15407/gb2412> [in Ukrainian].
- Ghun'jko, S.O. (2011). Kadmij u ghruntakh m. Dniprodzerzhyn's'jk [Cadmium in the soils of Dniprodzerzhinsk]. *Visnyk Dnipropetrovs'jkogho universytetu. Biologhija. Medycyna* [Bulletin of Dnipropetrovsk University. Biology. Medicine], 2 (1), 24–30. <https://doi.org/10.15421/021104> [in Ukrainian].

- Zhukov, O.V., Pakhomov, O.Je., & Kunakh, O.M. (2007). Biologichne riznomanittja Ukrajiny. Dnipropetrovsjka oblastj. Doshhovi chervjaky (Lumbricidae) [Biodiversity of Ukraine. Dnipropetrovsk region. Earthworms (Lumbricidae)]. Dnipropetrovsjk: Vydavnyctvo Dnipropetrovsjkogho nacionaljnogho universytetu [in Ukrainian].
- Kryshtop, Je.A., & Voloshhenko, V.V. (2013). Misjki grunty jak nevidjemnyj element urbanizovanykh i tekhnoghenno zabrudnenykh terytorij [Urban soils as an integral element of urbanized and technologically polluted territories]. *Visnyk Kharkivskogho nacionaljnogho aghrarnogho universytetu imeni V.V. Dokuchajeva* [Bulletin of Kharkiv National Agrarian University named after V.V. Dokuchaeva], 2, 200–206 [in Ukrainian].
- Malovichko, O.V., & Gholovnja, Ju.P. (2008). Ekologichnyj analiz naslidkiv stanu zabrudnennja avtomagistralej Kyjeva [Ecological analysis of the consequences of the state of pollution of highways in Kyiv]. *Visnyk NAU* [Bulletin of NAU], 37 (4), 89–92. <https://doi.org/10.18372/2306-1472.37.1639> [in Ukrainian].
- Mirzak, O.V. (2001). Ekologichni osoblyvosti edafotopiv urbanizovanykh terytorij stepovoji zony Ukrajiny (na prykladi m. Dnipropetrovsjka) [Ecological features of edaphotopes of urbanized territories of the steppe zone of Ukraine (on the example of the city of Dnipropetrovsk)]. Dnipropetrovsk [in Ukrainian].
- Sternik, V.M., & Meljnyk, V.J. (2016). Aktualnistj doslidzhenj doshhovykh chervjakiv v bioindykaciji stanu urboedafotopiv mista Rivne [The relevance of earthworm research in the bioindication of the state of urboedaphotopes in the city of Rivne]. *Zbirnyk naukovykh pracj Kharkivskogho nacionaljnogho pedagoghichnogho universytetu imeni Gh.S. Skovorody. Biologhija ta valeologhija* [Collection of scientific works of Kharkiv National Pedagogical University named after H.S. Frying pans Biology and valeology], 18, 169–180. <https://doi.org/10.5281/zenodo.167417> [in Ukrainian].
- Sternik, V.M. (2017). Biotychna aktyvnistj urboedafotopiv mista Rivne [Biotic activity of urboedaphotopes of the city of Rivne]. Rivne [in Ukrainian].
- Stojko, S.M., & Kojnova, I.B. (2012). Suchasni vydy antropogennogho vplyvu na zhyttjeve sere dovyshe [Modern types of anthropogenic impact on the living environment]. *Ukrajinsjkyj gheoghraficznyj zhurnal* [Ukrainian Geographical Journal], 1, 50–57 [in Ukrainian].
- Titenko, Gh.V. (2006). Ocinka ekologichnogho stanu misjkykh gruntiv jak zasib optymizaciji terytoriji [Assessment of the ecological state of urban soils as a means of territory optimization]. *Visnyk Sumsjkogho derzhavnogho universytetu. Tekhnichni nauky* [Bulletin of Sumy State University. Technical sciences], 5 (89), 149–152 [in Ukrainian].
- Shatalin, D.B. (2017). Doshhovi chervjaky (Lumbricidae) lisovykh ta urboekosystem Stepovogho Prydniprov'ja: strukturno-funkcionaljna orghanizacija ughrupovanj ta ekologichni aspekty vermykuljuty [Earthworms (Lumbricidae) of forest and urban ecosystems of the Dnieper Steppe: structural and functional organization of groups and ecological aspects of vermiculture]. Dnipro [in Ukrainian].
- Caruso, T., Migliorini, M., Rota, E., & Bargagli, R. (2017). Highly diverse urban soil communities: Does stochasticity play a major role? *Applied Soil Ecology*, 110, 73–78. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.10.012> [in English].
- Concepción, E.D., Moretti, M., Altermatt, F., Nobis, M.P., & Obrist, M.K. (2015). Impacts of urbanisation on biodiversity: the role of species mobility, degree of specialisation and spatial scale. *Oikos*, 124 (12), 1571–1582. <https://doi.org/10.1111/oik.02166> [in English].
- Curry, J. (2004). Factors Affecting the Abundance of Earthworms in Soils. *Earthworm ecology*, 9, 91–113. <https://doi.org/10.1201/9781420039719.pt3> [in English].
- Eggleton, P., Inward, K., Smith, J., Jones, D.T., & Sherlock, E. (2009). A six-year study of earthworm (Lumbricidae) populations in pasture woodland in southern England shows their responses to soil temperature and soil moisture. *Soil Biology and Biochemistry*, 41, 1857–1865. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.06.007> [in English].
- Ernst, G., Zimmermann, S., Christie, P., & Frey, B. (2008). Mercury, cadmium and lead concentrations in different ecophysiological groups of earthworms in forest soils. *Environmental Pollution*, 156, 1304–1313. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.03.002> [in English].
- Fründ, H.-C., Egbert, E., & Dumbek, G. (2004). Spatial distribution of earthworms [Lumbricidae] in recultivated soils of the Rhenish lignite-mining area, Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167 (4), 494–502. <https://doi.org/10.1002/jpln.200421372> [in English].
- Fründ, H.-C., Graefe, U., & Tischer, S. (2010). Earthworms as Bioindicators of Soil Quality. *Biology of Earthworms*, 24, 261–278. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14636-7_16 [in English].

- Grimm, N.B., Faeth, S.H., Golubiewski, N.E., Redman, C.L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J.M. (2008). Global change and the ecology of cities. *Science*, 319, 756–760. <https://doi.org/10.1126/science.1150195> [in English].
- Harbar, O., Moroz, V., Harbar, D., Vyskushenko, D., & Kratiuk, O. (2024). Spatial variation of earthworm communities in the motorway proximity. *Studia Biologica*, 18 (2), 157–168. <https://doi.org/10.30970/sbi.1802.768> [in English].
- Joschko, M., Fox, C.A., Lentzsch, P., Kiesel, J., Hierold, W., Krück, S., & Timmer, J. (2006). Spatial analysis of earthworm biodiversity at the regional scale. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112 (4), 367–380. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.08.026> [in English].
- Lanno, R., Wells, J., Conder, J., & Basta, N. (2004). The Bioavailability of Chemicals in Soil for Earthworms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 57 (1), 39–47. <https://doi.org/10.1002/chin.200418292> [in English].
- Morgan, J.E., & Morgan, A.J. (1999). The accumulation of metals (Cd, Cu, Pb, Zn and Ca) by two ecologically contrasting earthworm species (*Lumbricus rubellus* and *Aporrectodea caliginosa*): implications for ecotoxicological testing. *Applied Soil Ecology*, 13 (1), 9–20. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(99\)00012-8](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(99)00012-8) [in English].
- Ooms, A., Dias, A.T.C., Oosten, van A.R., Cornelissen, J.H.C., Ellers, J., & Berg, M.P. (2020). Species richness and functional diversity of isopod communities vary across an urbanisation gradient, but the direction and strength depend on soil type. *Soil Biology and Biochemistry*, 148, 107851. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107851> [in English].
- Paoletti, M.G. (1999). The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74 (1–3), 137–155. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00034-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00034-1) [in English].
- Peijnenburg, W.J.G.M., & Vijver, M.G. (2009). Earthworms and Their Use in Eco(toxico)logical Modeling. *Ecotoxicology Modeling*, 177–204. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0197-2_7 [in English].
- Römbke, J., Jänsch, S., & Didden, W. (2005). The use of earthworms in ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 62 (2), 249–265. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.03.027> [in English].
- Sheehan, C., Kirwan, L., Connoll, J., & Bolger, T. (2006). The effects of earthworm functional group diversity on nitrogen dynamics in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 38 (9), 2629–2636. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.04.015> [in English].
- Spurgeon, D.J., & Hopkin, S.P. (1999). Tolerance to Zinc in Populations of the Earthworm *Lumbricus rubellus* from Uncontaminated and Metal-Contaminated Ecosystems. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 37 (3), 332–337. <https://doi.org/10.1007/s002449900522> [in English].
- Tischer, S. (2008). Lumbricidae communities in soil monitoring site differently managed and polluted with heavy metals. *Polish Journal of Ecology*, 56, 635–646 [in English].
- Tischer, S. (2009). Earthworms (Lumbricidae) as bioindicators: the relationship between in-soil and in-tissue heavy metal content. *Polish Journal of Ecology*, 57, 531–541 [in English].
- Vlasenko, R., Khomiak, I., Harbar, O., & Demchuk, N. (2020). Lumbricides as a bio-indicators of the influence of electrical transmission line in the conditions of Ukrainian Polissia. *Travaux du Muséum National d'Histoire Naturelle "Grigore Antipa"*, 63 (1), 7–18. <https://doi.org/10.3897/travaux.63.e51640> [in English].

Отримано: 20.01.2025
Прийнято: 07.02.2025



УДК 57.085: [599.323.452:591.438]
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.8>

ДОСЛІДЖЕННЯ МОРФОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ СЕРОЗНОЇ ОБОЛОНКИ БРИЖИ ТОВСТОГО КИШКІВНИКА

Н. В. Новосад¹

Сучасні дослідження підкреслюють зростання ролі прикладної морфології у вивченні причин і механізмів формування анатомічних варіантів будови внутрішніх органів. Актуальність цієї роботи полягає в необхідності проведення комплексного аналізу топографо-анатомічних особливостей серозної оболонки товстого кишківника, що є важливим для створення нових, більш ефективних методів хірургічної корекції. Метою роботи було дослідження морфологічних особливостей серозної оболонки брижі товстого кишківника й особливостей забору плівкового матеріалу в білих щурів у нормі для подальших гістологічних досліджень. Дослідження проведено на 10 молодих самців білих щурів віком 5,0–6,0 місяців, масою 150–200 г. Макроскопічне дослідження передбачало визначення форми брижі товстого відділу кишківника та її морфометричних характеристик, зокрема довжини, ширини та площі. Фіксація препаратів проводилася в розчині Буена протягом 24 годин, після чого зразки промивали у проточній воді протягом 2 годин. Фарбування виконували за стандартною методикою з використанням гематоксиліну й еозину. Готові пофарбовані препарати фіксували в канадському бальзамі та досліджували на різних збільшеннях мікроскопа. Встановлено, що брижа товстого кишківника являє собою сукупність щільних складок черевної оболонки, що охоплюють петлі товстого кишківника, відокремлюють їх від задньої стінки черевної порожнини. Брижа має тонку, еластичну, гладку, майже прозору, блискучу структуру рівномірної щільності, у якій кровоносні судини розташовані ближче до порожнини товстого кишківника. У процесі планіметричного аналізу досліджено довжину брижі товстого кишківника – $11,2 \pm 0,3$ см; ширину – $6,9 \pm 0,8$ см; площу – $57,4 \pm 0,4$ см². Встановлено, що кількість лімфоцитів на стандартну досліджувану площу серозної оболонки брижі товстого кишківника налічує $4,8 \pm 0,42$ клітини (1 000 мкм²), що перебуває в межах норми.

Ключові слова: кишківник, плівкові препарати, лімфоцити, черевна порожнина, брижа кишківника, шлунково-кишковий тракт.

¹ кандидат біологічних наук,
доцент кафедри фізіології, імунології і біохімії з курсом цивільного захисту та медицини біологічного факультету
(Запорізький національний університет, м. Запоріжжя)
e-mail: novosadnata@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5993-9870

STUDY OF MORPHOLOGICAL FEATURES OF THE SEROUS COLUMN OF THE MESSIAH OF THE COLON INTESTINAL

N. V. Novosad

Modern research emphasizes the growing role of applied morphology in studying the causes and mechanisms of formation of anatomical variants of the structure of internal organs. The relevance of this work lies in the need for a comprehensive analysis of the topographic and anatomical features of the serous membrane of the large intestine, which is important for creating new, more effective methods of surgical correction. To study the morphological features of the serous membrane of the mesentery of the large intestine and the features of taking film material from white rats in the norm for further histological studies. The study was conducted on 10 young male white rats, aged 5,0–6,0 months and weighing 150–200 g. Macroscopic examination provided for determining the shape of the mesentery of the large intestine and its morphometric characteristics, in particular length, width and area. Fixation of the preparations was carried out in Bouin's solution for 24 hours, after which the samples were washed in running water for 2 hours. Staining was performed according to the standard method using hematoxylin and eosin. Ready-made stained preparations were fixed in Canadian balsam and examined at different magnifications of the microscope. It was established that the mesentery of the large intestine is a set of dense folds of the peritoneum, covering the loops of the large intestine, separating them from the posterior wall of the abdominal cavity. The mesentery has a thin, elastic, smooth, almost transparent, shiny structure, of uniform density, in which the blood vessels are located closer to the cavity of the large intestine. During the planimetric analysis, the length of the mesentery of the large intestine was examined – $11,2 \pm 0,3$ cm; width – $6,9 \pm 0,8$ cm; area – $57,4 \pm 0,4$ cm². It was established that the number of lymphocytes per standard studied area of the serous membrane of the colon mesentery is $4,8 \pm 0,42$ cells (1 000 μ m²), which is within normal limits.

Key words: intestine, film preparations, lymphocytes, abdominal cavity, intestinal mesentery, gastrointestinal tract.

Вступ

Розуміння анатомічної будови організму, його морфологічних і функціональних характеристик дозволяє виявити закономірності життєздатності та розвиток патологічних процесів, які відбуваються у тканинах і органах. Об'єктивні дані про топографію внутрішніх органів і їхню структуру мають ключове значення для розроблення ефективних методів хірургічного втручання (Vdovjaková et al., 2016).

Попри значні досягнення в галузях хірургії, анестезіології та реаніматології, а також упровадження сучасних технологій у медичну практику, лікування хворих із гострими захворюваннями органів черевної порожнини часто залишається малоефективним (Coffey & Dockery, 2020).

Смертність від деструктивного холециститу сягає 35%, кишкової непрохідності – 20%, панкреонекрозу – 15–47%, генералізованого перитоніту – 40%. Гострі патології органів черевної порожнини часто ускладнюються розвитком поліорганної недостатності, яка стає причиною летальних випадків у 95–97% хворих (Murando et al., 2019).

Сучасні дослідження підкреслюють зростання ролі прикладної морфології

у вивченні причин і механізмів формування анатомічних варіантів будови внутрішніх органів. Актуальність цієї роботи полягає в необхідності комплексного аналізу топографо-анатомічних особливостей серозної оболонки очеревини та її похідних, що є важливим для створення нових, більш ефективних методів хірургічної корекції (Daisuke et al., 2019).

Натепер більшість порушень у роботі шлунково-кишкового тракту пов'язана з пошкодженням тканинного бар'єра через проникнення патогенних мікроорганізмів і всмоктування токсичних речовин. Це є одним із наслідків впливу біологічних чинників на кишківник (Пайдаркіна і Куш, 2024а).

Негативний вплив на фізіологічні процеси шлунково-кишкового тракту спричиняють вікові зміни, хірургічні втручання, запальні процеси, а також фізичні та хімічні чинники. До таких належать застосування антибіотиків і хіміопрепаратів, споживання їжі з консервантами та стабілізаторами, гіподинамія, булімія й анорексія. Усі ці чинники спричиняють зміни у структурі та функціонуванні компонентів очеревини, що призводить до ремоделювання окремих

гістологічних структур кишківника й очеревини (Schurink et al., 2019).

Підвищений інтерес науковців до анатомо-фізіологічних властивостей серозної оболонки пояснюється її активною участю в захисних реакціях плевральної та перитонеальної порожнин організму (Bunni et al., 2020).

Серозна оболонка кишківника виконує захисну функцію, запобігає проникненню патогенів і токсинів у черевну порожнину, що є важливим для збереження стерильності та нормального функціонування органів шлунково-кишкового тракту (далі – ШКТ) (Byrnes et al., 2021).

Вивчення механізмів регенерації серозної оболонки має значення для хірургії та трансплантології, оскільки її ушкодження може призводити до післяопераційних ускладнень, зокрема до спайкового процесу (Пайдаркіна і Куш, 2024b).

Детальне вивчення серозної оболонки товстого кишківника є актуальним і важливим питанням як для розуміння її фізіологічних функцій, так і для розроблення нових підходів у медицині, зокрема в гастроентерології, хірургії й імунології (O'Regan et al., 2022).

Усе це обґрунтовує увагу до брижі товстого кишківника як об'єкта дослідження з боку багатьох морфологів і клініцистів (Krishnan et al., 2020).

Дослідження фізіології шлунково-кишкового тракту часто проводять на експериментальних моделях із використанням щурів, оскільки їхня травна система анатомічно подібна до людської (Kai, 2021).

Базуючись на вищевказаних фактах про те, що в усіх ссавців, зокрема й людини, серозна оболонка брижі товстого кишківника є унікальним утворенням, було поставлено завдання дослідити особливості її макроскопічної та мікроскопічної будови.

Мета дослідження. Дослідити морфологічні особливості макроскопічної та мікроскопічної будови серозної оболонки брижі товстого кишківника в білих щурів у нормі.

Матеріал і методи

Дослідження проводили на 10 молодих самцях білих щурів віком 5,0–6,0 місяців і масою 150–200 г. Тварини утримувалися у стандартних умовах віварію кафедри фізіології, імунології та біохімії з курсом цивільного захисту та медицини біологічного факультету Запорізького національного університету.

Перед проведенням препарування черевної порожнини щурів знеболювали за допомогою хлороформного наркозу.

Морфологічне дослідження серозної оболонки брижі товстого кишківника представлено макроскопічним, гістологічним і морфометричним аналізом.

У процесі макроскопічного дослідження визначали форму брижі товстого відділу кишківника та її морфометричні характеристики, зокрема довжину, ширину та площу.

Морфометричні параметри брижі досліджували за допомогою лінійки з точністю до 1 мм. Площа брижі досліджувалася методом планіметрії: розміщували на планіметричній сітці з періодом 1 см у природному положенні, після чого проводився підрахунок заповнених і напівзаповнених клітин.

Забір плівкових зразків брижі товстого кишківника здійснювався шляхом розміщення матеріалу на підготовлений пінопластовій основі розмірами 1 × 1 см (Пайдаркіна і Куш, 2023).

Фіксація препаратів проводилася в розчині Буена протягом 24 годин, після чого зразки промивали у проточній воді протягом 2 годин.

Фарбування виконували за стандартною методикою з використанням гематоксиліну й еозину (Avwioro, 2011). Готові пофарбовані препарати фіксували в канадському бальзамі та мікроскопіювали за збільшення об'єктива 40 і 100.

Дослідження проводили відповідно до Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються в експериментах (Страсбург, 1986 р.), Директиви Європейської Ради 86/609/ЄЕС (1986 р.), Закону України № 3447-IV «Про захист тварин від жорстокого поводження», загальних етичних принципів експериментів на тваринах, ухвалених Першим національним конгресом України з біоетики (2001 р.).

Результати

Результати досліджень характеризують брижу товстого кишківника як плівкову напівпрозору структуру. Макроскопічно підтверджено, що брижа товстого кишківника являє собою сукупність щільних складок черевної оболонки, що охоплюють петлі товстого кишківника, відокремлюють їх від задньої стінки черевної порожнини, містять кровоносні судини.

Брижа – це подвійна складка (дубліката) очеревини, за допомогою якої киш-

Таблиця 1

Морфометрія (у см) брижі товстого кишківника в самців білих щурів у нормі

п	Показники	середнє значення
10	довжина, см	$6,03 \pm 0,1$
	ширина, см	$3,4 \pm 0,7$
	площа, см^2	$38,4 \pm 0,4$

*Примітка: n – кількість тварин в експерименті.

ківник фіксується до черевної стінки. Візуально відмічено, що ця частина брижі, яка кріпиться до товстого кишківника, є відносно короткою, завдовжки не більше 3–6 см, та підтримує більшу частину кишківника в черевній порожнині, запобігає його зміщенню й опусканню (рис. 1).

Під час вилучення із черевної порожнини та розгортання петель товстого кишківника встановлено, що брижа білих лабораторних щурів у нормі має довжину $11,2 \pm 0,3$ см і утримує більшу частину кишківника в черевній порожнині, перешкоджає його зміщенню й опусканню.

Завдяки численним складкам вона багаторазово укладається, що робить край, до якого кріпиться товстий кишківник, здатним розтягуватися і подовжуватися в 1,5 рази. Складчастість і рухливість брижі забезпечують вільні перистальтичні рухи товстого кишківника, що дозволяє хімусу просуватися порожниною кишківника.

За методикою макроскопічного дослідження основних лінійних параметрів (Felix, 1961) було отримано результати довжини, ширини та площі брижі товстого відділу кишківника досліджуваних щурів.

Встановлена довжина брижі товстого кишківника – $11,2 \pm 0,3$ см; ширина – $6,9 \pm 0,8$ см; площа – $57,4 \pm 0,4 \text{ см}^2$ (табл. 1).



Рис. 1. Макроскопічна будова брижі товстого кишківника. 1 – петля товстого кишківника, 2 – плівкова структура брижі товстого кишківника, 3 – кровоносні судини, 4 – скупчення жирової тканини між дублікатами листків очеревини

Завдяки своїй унікальній структурі, брижа характеризується структурою, подібною до віяла, у якій парієтальний листок серозної оболонки очеревини переходить на внутрішні органи (вісцеральний листок очеревини).

У процесі дослідження виявлено два краї брижі, які різняться за довжиною та функціями: один край, ближчий до кореня, з'єднує брижу із задньою стінкою черевної порожнини, інший край брижі з'єднує її з порожнистою структурою товстого кишківника. Так, брижа товстого кишківника візуально володіє конформацією віяла завдяки різності довжин двох протилежних її країв, які за вертикального положення утворюють складки.

Під час розкриття черевної порожнини та вилучення товстого кишківника підтверджується, що брижа має тонку, еластичну, гладку, майже прозору, блискучу структуру рівномірної щільності, у якій кровоносні судини розташовані ближче до порожнини товстого кишківника.

Між двома вісцеральними листками брижі товстого кишківника також візуально виявляються скупчення жирової тканини, велика кількість лімфатичних судин і нервових волокон. Так, у брижі проглядаються верхня та нижня брижові артерії, які постачають кров'ю товстий кишківник. Відтік крові відбувається по верхній і нижній брижових венах, що є притоками ворітної вени. Судини брижі багаторазово розгалужуються, утворюючи сітку кровоносних шляхів. Тісне зіткнення лімфатичних і кровоносних судин, нервів і сполучної тканини підтверджує, що брижа має центральне положення в черевній порожнині.

Згідно з даними літератури (Schurink et al., 2019), брижа товстого кишківника білого щура є аналогічною за своєю будовою до брижі товстого кишківника людини.

Гістологічне дослідження встановило, що серозна оболонка брижі товстого кишківника складається з мезотеліального шару та локалізованої нижче сполучної тканини

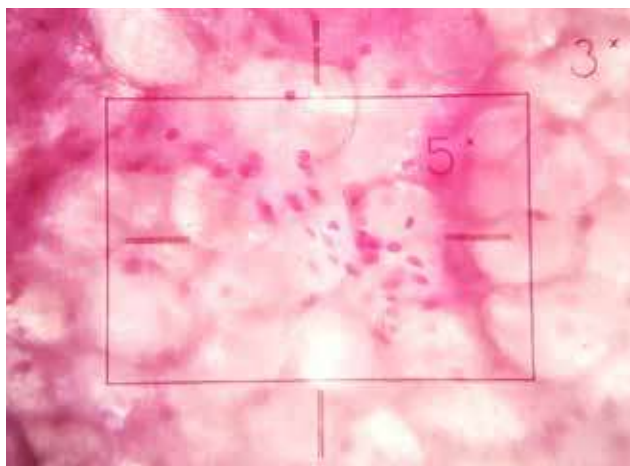


Рис. 2. Мікроскопічна будова брижі товстого кишківника. Дифузне розташування лімфоцитів у самців білих щурів у нормі. Плівчастий препарат. Забарвлення: гематоксилін й еозин. Заключення у гліцерин-желатин. Збільшення: 10 x 40

з розгалуженими еластичними та колагеновими волокнами. Між трабекулами сполучної тканини локалізуються жирові часточки, а також скупчення макрофагів і лімфоцитів, що утворюють молочні плями (Krishnan et al., 2020).

У процесі дослідження мікроскопічної будови брижі товстого кишківника виявлені округлі невеликі клітини діаметром до 8 мкм із чітко вираженим ядром – лімфоцити, що розміщувалися дифузно по досліджуваному периметру серозної оболонки.

У процесі кількісного аналізу клітин на стандартну площу серозної оболонки брижі товстого кишківника встановлено число лімфоцитів, що становило $4,8 \pm 0,42$ клітини (на 1 000 мкм²), яке перебуває в межах норми.

Обговорення

Результати даного дослідження підтверджують факт, що брижа товстого кишківника, як компонент очеревини, складається із суцільного шару мезотеліальних клітин. Ці клітини охоплюють субмезотеліальну область, яка складається з тонкого шару сполучної тканини, де локалізуються фіброласти, макрофаги, тучні та лімфатичні клітини (Jackson-Jones & Bénézech, 2020).

Отримані результати топографії та кількості лімфоцитів у брижі товстого кишків-

ника в нормі доповнюють уявлення про будову лімфоїдних утворень, що асоційовані із серозними оболонками очеревини (SALC).

Цей факт підкреслює зв'язок між уродженим і адаптивним імунітетом черевної порожнини, оскільки до лімфоцитів належать B₁- і B₂-субпопуляції. Простежується аналогія плевральної порожнини з перитонеальною. Обидві межують з органами, які приймають на себе найбільше антигенне навантаження: у плевральній і перитонеальній порожнинах представлені клітини 1-ї лінії захисту – B1-лімфоцити. Припускається, що імунний захист слизової оболонки респіраторного тракту реалізується аналогічно до мукозального захисту кишківника (Kuper et al., 2021).

Вплив мікрооточення черевної порожнини на активність В-лімфоцитів – важлива проблема фундаментальної імунології, що потребує подальшого вивчення (Wang et al., 2020).

Аналогічні дослідження у тканинному бар'єрі системи «мати – плацента – плід» показали, що біологічні бар'єри формуються на клітинному та молекулярному рівні. Аналогічно в гематоплацентарному бар'єрі накопичуються фібрин-імунні комплекси, що представлені нормальними антитілами за походженням від B₁-лімфоцитів (Куш, 2007).

Відкритим залишається питання щодо належності виявлених у серозній оболонці брижі товстого кишківника лімфоцитів до різних субпопуляцій, динаміки їх кількості за антигенного навантаження, що і стане метою майбутніх наукових досліджень.

Висновки

У процесі макроскопічного дослідження встановлено морфологічні особливості серозної оболонки брижі товстого кишківника, а також її морфометричні особливості в щурів у нормі; під час макроскопічного дослідження виявлено лімфоцити, дифузно локалізовані в мікрооточенні клітин мезотелію, кількість яких у нормі становила $4,8 \pm 0,42$ клітини (на 1 000 мкм²).

Подальші дослідження брижі товстого кишківника спрямовані на вивчення закономірностей їхньої гістологічної структури, визначення різними методологічними способами ролі лімфоїдного компонента в ньому (субпопуляцій лімфоцитів, динаміки їх кількості за антигенного навантаження).

Список використаної літератури

- Куш О.Г. Виявлення В-лімфоцитів у плаценті при резус-ізоімунному конфлікті матері та плоду. *Вісник морфології*. 2007. № 13 (2). С. 290–293.
- Пайдаркіна А.П., Куш О.Г. Дослідження морфологічних особливостей очере-
вини білих щурів й методика її забору. *Морфологія*. 2023. № 3 (17). С. 162–167.
<https://doi.org/10.26641/1997-9665.2023.3.163-167>.
- Пайдаркіна А.П., Куш О.Г. Морфофункціональні зміни очеревини і її структур при
спайковій хворобі. *Вісник проблем біології і медицини*. 2024а. № 1 (172). С. 97–106.
<https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-1-172-97-106>.
- Пайдаркіна А.П., Куш О.Г. Ремодельовання очеревини і зміни її лімфоїдного компоненту при
експериментальному моделюванні спайкової хвороби у щурів. *ScienceRise: Biological Science*,
2024b. № 4 (37). С. 10–16. <https://doi.org/10.15587/2519-8025.2024.301278>.
- Avwioro G. Histochemical Uses of Haematoxylin – A Review. *JPCS*. 2011. Vol. 1. P. 24–34.
<https://doi.org/10.1111/iej.12859>.
- Bunni J., Coffey J.C., Kalady M.F. Resectional surgery for malignant disease of abdominal diges-
tive organs is not surgery of the organ itself, but also that of the mesenteric organ. *Tech Coloproctol*.
2020. № 24. P. 757–760. <https://doi.org/10.1007/s10151-020-02197-7>.
- Byrnes K.G., Walsh D., Walsh L.G. The development and structure of the mesentery. *Commun
Biol*. 2021. № 4. P. 982–985. <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02496-1>.
- Coffey J.C., Dockery P. Peritoneum, mesentery and peritoneal cavity. *Gray's Anatomy: The
Anatomical Basis of Clinical Practice*. 2020. 42nd edition. P. 1150–1160.
- Daisuke S., Ji H.K., Shunichi S., Gen M., José F.R. Topographical anatomy of the greater omen-
tum and transverse mesocolon: a study using human fetuses. *Anatomy and Cell Biology*. 2019.
№ 5. P. 443–454. <https://doi.org/10.5115/acb.19.112>.
- Felix M.D. Observation on the surface cells of the mouse omentum as studied with the
Phasecontrast and Electron Microscopes. *Journal of the National Cancer Institute*. 1961. № 27.
P. 713–745.
- Jackson-Jones L.H., Bénézech C. FALC stromal cells define a unique immunological niche
for the surveillance of serous cavities. *Curr. Opin. Immunol*. 2020. № 64. P. 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.coi.2020.03.008>.
- Kai Y. Intestinal villus structure contributes to even shedding of epithelial cells. *Biophysical
Journal*. 2021. № 120. P. 699–710. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2021.01.003>.
- Krishnan V., Tallapragada S., Schaar B., Kamat K., Chanana A.M., Zhang Y. Omental macro-
phages secrete chemokine ligands that promote ovarian cancer colonization of the omentum via CCR.
Communications Biology. 2020. № 223. P. 524–529. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01246-z>.
- Kuper C.F., Pieters R.H., van Bilsen J.M. Nanomaterials and the Serosal Immune
System in the Thoracic and Peritoneal Cavities. *Int. J. Mol. Sci*. 2021. № 22. P. 2610–2618.
<https://doi.org/10.3390/ijms22052610>.
- Murando F., Peloso A., Cobiauchi L. Experimental Abdominal Sepsis: Sticking to an
Awkward but Still Useful Translational Model. *Mediators of Inflammation*. 2019. № 3. P. 8–10.
<https://doi.org/10.1155/2019/8971036>.
- O'Regan P.W., Mhuirheartaigh J.N., Scanlon T.G., Shelly M.J. Radiology of the Mesentery. *Clin
Colon Rectal Surg*. 2022. № 35. P. 328–337. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1744481>.
- Schurink B., Cleypool C.J., Bleys R.L. A rapid and simple method for visualizing milky spots in
large fixed tissue samples of the human greater omentum. *Biotechnic & Histochemistry*. 2019. № 94.
P. 429–434. <https://doi.org/10.1080/10520295.2019.1583375>.
- Vdovíaková K., Petrovová E., Maloveská M., Krešáková L., Teleky J., Elias M.Z., Petrášová
D. Surgical Anatomy of the Gastrointestinal Tract and Its Vasculature in the Laboratory Rat.
Gastroenterol Res Pract. 2016. № 26. P. 32–36. <https://doi.org/10.1155/2016/2632368>.
- Wang Q., Huang Y., Zhou R., Wu K., Li W., Shi L., Xia Z., Tao K., Wang G. Regulation and func-
tion of IL-22 in peritoneal adhesion formation after abdominal surgery. *Wound Repair Regen*. 2020.
№ 28. P. 105–117. <https://doi.org/10.1111/wrr.12740>.

References

- Kushch, O.G. (2007). Vyyavlennya B-limfotsytiv u platsenti pry rezus-izoimmunomu konfliktі materi ta plodu [Detection of B-lymphocytes in the placenta in case of Rhesus-isoimmune conflict between mother and fetus]. *Zhurnal morfolohiyi [Journal of Morphology]*, 13 (2), 290–293 [in Ukrainian].

- Paidarkina, A.P., & Kushch, O.G. (2023). Doslidzhennya morfolohichnykh osoblyvostey ocherevyny bilykh shchuriv ta metodiv yiyi zaboru [Investigation of morphological features of the peritoneum of white rats and methods of its collection]. *Morfolohiya. [Morphology]*, 3 (17), 162–167. <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2023.3.163-167> [in Ukrainian].
- Paidarkina, A.P., & Kushch, O.G. (2024). Morfofunktsional'ni zminy ocherevyny ta yiyi struktury pry spaykoviy khvorobi [Morphofunctional changes of the peritoneum and its structure in adhesive disease]. *Visnyk problem biolohiyi ta medytsyny [Bulletin of problems Biology and Medicine]*, 1 (172), 97–106. <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-1-172-97-106> [in Ukrainian].
- Paidarkina, A.P., & Kushch, O.G. (2024). Remodelyuvannya ocherevyny ta zminy yiyi limfoidnoho komponenta v eksperymentalnomu modelyuvanni spaykovoyi khvoroby u shchuriv [Peritoneal remodeling and changes in its lymphoid component in experimental modeling of adhesive disease in rats]. *ScienceRise: Biological Science*, 4 (37), 10–16. <https://doi.org/10.15587/2519-8025.2024.301278> [in Ukrainian].
- Avwioro, G. (2011). Histochemical Uses of Haematoxylin – A Review. *JPCS*, 1, 24–34. <https://doi.org/10.1111/iej.12859> [in English].
- Bunni, J., Coffey, J.C., Kalady, M.F. (2020). Resectional surgery for malignant disease of abdominal digestive organs is not surgery of the organ itself, but also that of the mesenteric organ. *Tech Coloproctol*, 24, 757–760. <https://doi.org/10.1007/s10151-020-02197-7> [in English].
- Byrnes, K.G., Walsh, D., Walsh, L.G. (2021). The development and structure of the mesentery. *Commun Biol.*, 4, 982–985. <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02496-1> [in English].
- Coffey, J.C., & Dockery, P. (2020). Peritoneum, mesentery and peritoneal cavity. in Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice (42nd edition), 1150–1160 [in English].
- Daisuke, S., Ji H.K., Shunichi, S., Gen, M., José, F.R. (2019). Topographical anatomy of the greater omentum and transverse mesocolon: a study using human fetuses. *Anatomy and Cell Biology*, 52, 443–454. <https://doi.org/10.5115/acb.19.112> [in English].
- Felix, M.D. (1961). Observation on the surface cells of the mouse omentum as studied with the Phasecontrast and Electron Microscopes. *Journal of the National Cancer Institute*, 27, 713–745 [in English].
- Jackson-Jones, L.H., & Bénézech, C. (2020). FALC stromal cells define a unique immunological niche for the surveillance of serous cavities. *Curr. Opin. Immunol*, 64, 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.coi.2020.03.008> [in English].
- Kai, Y. (2021). Intestinal villus structure contributes to even shedding of epithelial cells. *Biophysical Journal*, 120, 699–710. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2021.01.003> [in English].
- Krishnan, V., Tallapragada, S., Schaar, B., Kamat, K., Chanana, A.M., Zhang, Y. (2020). Omental macrophages secrete chemokine ligands that promote ovarian cancer colonization of the omentum via CCR. *Communications Biology*, 223, 524–529. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01246-z> [in English].
- Kuper, C.F., Pieters, R.H.H., van Bilsen, J.H.M. (2021). Nanomaterials and the Serosal Immune System in the Thoracic and Peritoneal Cavities. *Int. J. Mol. Sci.*, 22, 2610–2618. <https://doi.org/10.3390/ijms22052610> [in English].
- Murando, F., Peloso, A., Cobianchi, L. (2019). Experimental Abdominal Sepsis: Sticking to an Awkward but Still Useful Translational Model. *Mediators of Inflammation*, 3, 8–10. <https://doi.org/10.1155/2019/8971036> [in English].
- O'Regan, P.W., Mhuirheartaigh, J.M.N., Scanlon, T.G., Shelly, M.J. (2022). Radiology of the Mesentery. *Clin Colon Rectal Surg.*, 35, 328–337. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1744481> [in English].
- Schurink, B., Cleypool, C.G.J., Bleys, R.L. (2019). A rapid and simple method for visualizing milky spots in large fixed tissue samples of the human greater omentum. *Biotechnic & Histochemistry*, 94 (6), 429–434. <https://doi.org/10.1080/10520295.2019.1583375> [in English].
- Vdoviaková, K., Petrovová, E., Maloveská, M., Krešáková, L., Teleky, J., Elias, M.Z., Petrášová, D. (2016). Surgical Anatomy of the Gastrointestinal Tract and Its Vasculature in the Laboratory Rat. *Gastroenterol. Res. Pract.*, 26, 32–36. <https://doi.org/10.1155/2016/2632368> [in English].
- Wang, Q., Huang, Y., Zhou, R., Wu, K., Li, W., Shi, L., Xia, Z., Tao, K., Wang, G. Regulation and function of IL-22 in peritoneal adhesion formation after abdominal surgery. *Wound Repair Regen.* 2020. № 28. P. 105–117. <https://doi.org/10.1111/wrr.12740> [in English].

Отримано: 27.01.2025
Прийнято: 11.02.2025



УДК 574+57:582.475(450/469)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.9>

ПОШИРЕННЯ, МОРФОЛОГІЯ, ЕКОЛОГІЯ Й БІОЛОГІЯ СОСНИ КАНАРСЬКОЇ СЕРЕДЗЕМНОМОРСЬКОГО ФЛОРИСТИЧНОГО РЕГІОНУ

А. П. Стадниченко¹, Ю. В. Іконнікова²

Хвойні дерева класу *Pinopsidae* – вагома складова частина сучасної світової наземної флори, яка є філогенетично прадавньою групою одних із найперших голонасінних рослин. Вони виникли у кінці палеозою (285 млн років тому) й набули чималого розвитку у мезозойську еру з крейдяним періодом включно (110–140 млн років тому). Походять вони від папоротеподібних, проте виявились значно краще та надійніше за них пристосованими до нових кліматичних умов існування, зокрема меншої вологості територій і більших їх температур, а також підвищених значень показника сухості повітря. Україн важливим кроком за означених вище змінених умов оточуючого середовища в еволюції рослинного світу стало виникнення у голонасінних нового органу – насінини із зародком. Наразі у флорі Землі їх нараховується 1080 видів, які належать до 83 родів, що є вагомою складовою частиною світової наземної флори. Це наслідок широкого розповсюдження видів хвойних рослин як у сьогоденні, так і за часів попередніх геологічних епох, а також чималої значимості практичного застосування їх людством у різних галузях природо-користування у низці континентів (Північній Америці, Євразії, Африці, Австралії). Наразі соснові є найрозповсюдженішими, найбільше й найефективніше використовуваними у межах північної півкулі Землі – від помірних до арктичних широт, адже нині саме на цих теренах зосереджено понад 80% від загальної кількості площ хвойних лісів нашої планети. Таксономічний склад соснових представлений ендемічними видами всього лише чотирьох родів – *Abies* Mill., *Picea* A. Dietz, *Larix* Mill. і *Pinus* L. На південних теренах Європи (на широтному рівні Південно-Східної Африки) представники родини соснових розповсюджені як у рівнинних, так і в гірських місцевостях (на висотах до 1000–2850 м над рівнем моря). Найбільша із родин описуваного класу, яка представлена сьогодні 231 видом, – це родина *Pinaceae* – соснові. На сьогодні у низці південноєвропейських країн широко культивують інтродуцента – сосну канарську (*Pinus canariensis* C. Sm.). Стаття присвячена вивченню поширення, морфології, екології та біології цього виду Середземноморського флористичного регіону. У ній узагальнено як літературні, так і авторські дані щодо особливос-

¹ доктор біологічних наук,
професор кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи (Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: stadnychenko2016@gmail.com
ORCID: 0000-0001-7738-4776

² асистент кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: ikon_y@i.ua
ORCID: 0000-0001-6887-0529

теї будови вегетативних і генеративних органів сосни канарської, екофізіологічні особливості виду та його можливості до адаптації в нових умовах.

Ключові слова: сосна канарська (*Pinus canariensis*), ареал, морфологія, екологія, біологія, інтродукований вид, Середземноморський флористичний регіон.

DISTRIBUTION, MORPHOLOGY, ECOLOGY AND BIOLOGY OF *PINUS CANARIENSIS* OF THE MEDITERRANEAN FLORISTIC REGION

A. P. Stadnychenko, Yu. V. Ikonnikova

Conifers of the Pinopsidae class are a significant component of the modern world's terrestrial flora, whose representatives (components of the Pinophyta division) represent a phylogenetically very ancient group of some of the earliest naked-seeded plants. They originated at the end of the Paleozoic (285 million years ago) and developed considerably in the Mesozoic era up to and including the Cretaceous period (110–140 million years ago). They are descended from ferns, but have proved to be much better and more reliably adapted to the new climatic conditions of existence, namely, lower humidity and higher temperatures, as well as higher values of the air dryness index. An extremely important step in the evolution of the plant world under the above-mentioned changed environmental conditions was the emergence of a new organ in the naked seeds – the seed with an embryo. Currently, there are 1080 species in the Earth's flora belonging to 83 genera, which is a significant component of the world's terrestrial flora. This is a result of the widespread distribution of coniferous species both in the present and in previous geological epochs, as well as the significant importance of their practical use by humankind in various areas of nature management on a number of continents (North America, Eurasia, Africa, Australia) from ancient geological epochs to the present.

Currently, pine forests are the most widespread, largest and most efficiently used in the northern hemisphere, from temperate to arctic latitudes. These areas currently account for more than 80% of the total area of coniferous forests on our planet. The taxonomic composition of pines is represented by endemic species of only four genera – *Abies* Mill. Dietz., *Larix* Mill. and *Pinus* L. In southern Europe (at the latitudinal level of southeastern Africa), representatives of the pine family are distributed both in plains and in mountainous areas (at altitudes up to 1000–2850 m above sea level). The largest of the families of the described class, which is represented today by 231 species, is the Pinaceae family. Today, the Canarian pine (*Pinus canariensis* C. Sm.) is widely cultivated in a number of southern European countries. The article is devoted to the distribution, morphology, ecology and biology of this species of the Mediterranean floristic region. It summarises literature and author's data on the structure of the vegetative and generative organs of Canarian pine, ecophysiological features of the species and its ability to adapt to new conditions.

Key words: Canarian pine (*Pinus canariensis*), distribution, morphology, ecology, biology, introduced species, Mediterranean floristic region.

Вступ

Дерева родини Pinaceae від прадавніх часів і до сьогодення є об'єктами всебічних досліджень низки різнопрофільних біологів, що зумовлено чималою значимістю саме цих рослинних об'єктів у формуванні одних із найпотужніших як за розмірами, так і за рівнями їх функціонування як природних, так і штучно створених екосистем дуже своєрідного типу, а саме лісів сосни канарської *Pinus canariensis* C. Sm., 1825. Ця рослина – ендемік Канарських островів, що зростає в умовах субтропічного кліматичного поясу Землі (Farjon, 2010; Christenhusz et al., 2011; Christenhusz & Byng, 2016; Познякова і Лось, 2023).

Відносно нещодавно (протягом останніх півтора століть) її було успішно акліматизовано у таких же кліматичних умовах низки континентів – Північної Америки, Євразії, Півдня Африки та в Австралії. Швидко і добре при звичаїлася вона й на Півдні України – на Кримському півострові (у Нікітському ботанічному саду алею цих дерев висаджено було ще у 1834 році). Тут ця сосна успішно пристосувалася до нових кліматичних умов середовища. Канарські сосни представлені там і нині (Одінцова і Рутузова, 2013). Аборигенним же ареалом цієї сосни є Канарський архіпелаг, утворений чотирма островами вулканічного походження – Тенеріфе, Ла-Пальма,

Ієрро й Гран-Канарія, котрим притаманний м'який субтропічний клімат. На найпівденнішому з них – Тенеріфе – сосна канарська поширена спонтанно від рівня моря до висоти 2200 м (Del Arco et al., 1992). На інших островах згаданого вище архіпелагу на підвітряних їх теренах на висотах у межах 1200–2000 м вона утворює потужні смуги вічнозелених хвойних лісів із густим чагарниково-трав'янистим підростом, що розвивається на ґрунтовому субстраті, утвореному застиглою безводною вулканічною лавою (Jiménez et al., 2005). Водозабезпечення усього живого на цих теренах здійснюється за рахунок води, котра конденсується на гладеньких опуклих горішніх поверхнях хвої сосни канарської, стікає їх гладенькою поверхнею донизу на ґрунтовий субстрат під соснами. Через це у хвойних лісах північно-західних теренів Азійського континенту (регіон нашого дослідження), утворених цими помірно високими деревами, добре зволожені такою водою ґрунти завжди бувають щільно вкриті рослинним підростом, представленим низькорослими чагарниками і посухостійкою трав'янистою рослинністю.

Матеріал і методи

Матеріалом даного дослідження слугували насадження *Pinus canariensis* у північній частині Середземноморського флористичного регіону, що охоплює східне узбережжя Середземного моря (Атлас..., 2005). Вивчення особливостей поширення, морфології, екології та біології сосни канарської здійснювали тричі на місяць протягом понад двох років (з липня 2022 до вересня 2024 року включно).

Більшість природних матеріалів, покладених в основу цієї праці, була здобута у дуже щільних низькорослих колючих лісах (маквіс) північного і північно-східного узбережжя Середземного моря. Зібрано й опрацьовано 2169 проб. Шляхом візуальних спостережень та у процесі мікроскопічних досліджень (мікроскоп МБІ-6) визначали й оцінювали особливості зовнішньої організації досліджуваних об'єктів – сосен канарських (форма і розміри стовбурів, тип розміщення і кількість пагонів крони, особливості будови кори й просторового положення хвої, а також тип розміщення і кількість чоловічих та жіночих шишок цих дерев).

Результати та обговорення

Стрункий прямостоячий і досить твердий стовбур *P. canariensis* (рис. 1 А) сягає у висоту 25–35 м. По поверхні його розки-

дані де-не-де (не дуже густо) кілька десятків коротеньких пагонів (4,34–7,47 см), голих спочатку, а невдовзі з пучечками хвої на їх верхівках (рис. 1 Г). У наймолодших за віком дерев стовбур завжди вкритий дуже нерівною за товщиною корою, на різних її ділянках густо порепаною вздовж і уперек (рис. 1 В). Фактура кори стовбура зазвичай пластинчаста. Проте у верхній частині його пластинчаста кора змінюється на золотистого кольору значно дрібнішу і тоншу за пластинки луску.

Залежно від віку сосен забарвлення їх кори з плином часу поступово неодноразово змінюється. У наймолодших дерев воно зазвичай буває помірно, рідше – інтенсивно жовтим, надалі стає рудувато-жовтим або червонувато-жовтим (українською – майже темно-червоним), опісля – коричнево-жовтим, коричнево-сірим із дрібненькими краплями блідої жовтизни, а по тому – коричнево-сірим. Кора товста, шарувата за структурою, з дуже нерівною поверхнею, тверда, порепана вздовж і впоперек згори, через що є дуже шорсткою на дотик і зовсім не духмяною. Останнє зумовлено тим, що у щільній корі цієї сосни відсутні смоляні ходи. Вони зосереджені у неї не у корі, як у всіх інших видів *Pinaceae*, а набагато глибше – у шарі дуже щільної деревини, котра не тоне у воді й високо цінується здавна як будівельний матеріал. Серцевина стовбура сосни канарської вкрай слабо виражена.

Гілки крони цієї сосни є досить короткими. У молодих дерев вони утворюють зазвичай вузьку пірамідальну стрімку загострену крону, верхівка якої виразно трикутна, через що за своєю формою вона дуже подібна до верхівки ялини. Проте зі збільшенням віку цих дерев відбувається сплюснення крон унаслідок інтенсивного розростання їх у ширину. Крони цих дерев у будь-якому віці завжди пухкі й досить прозорі, належать до категорії напіважурних крон середньої щільності, що зумовлюється моноподіальним типом наростання їх пагонів. Сумарна площа просвітів у верхівках крон сосни канарської сягає зазвичай 25–50% від загальної площі останніх. Отже, за показником щільності крони ця сосна належить до групи напіважурних дерев середньої щільності (Познякова і Лось, 2023). Проте у дерев, що зростають на відкритих теренах, крона завжди широка, розлога.

Сосна канарська – єдиний вид родини соснових, у представників якого, по-перше,

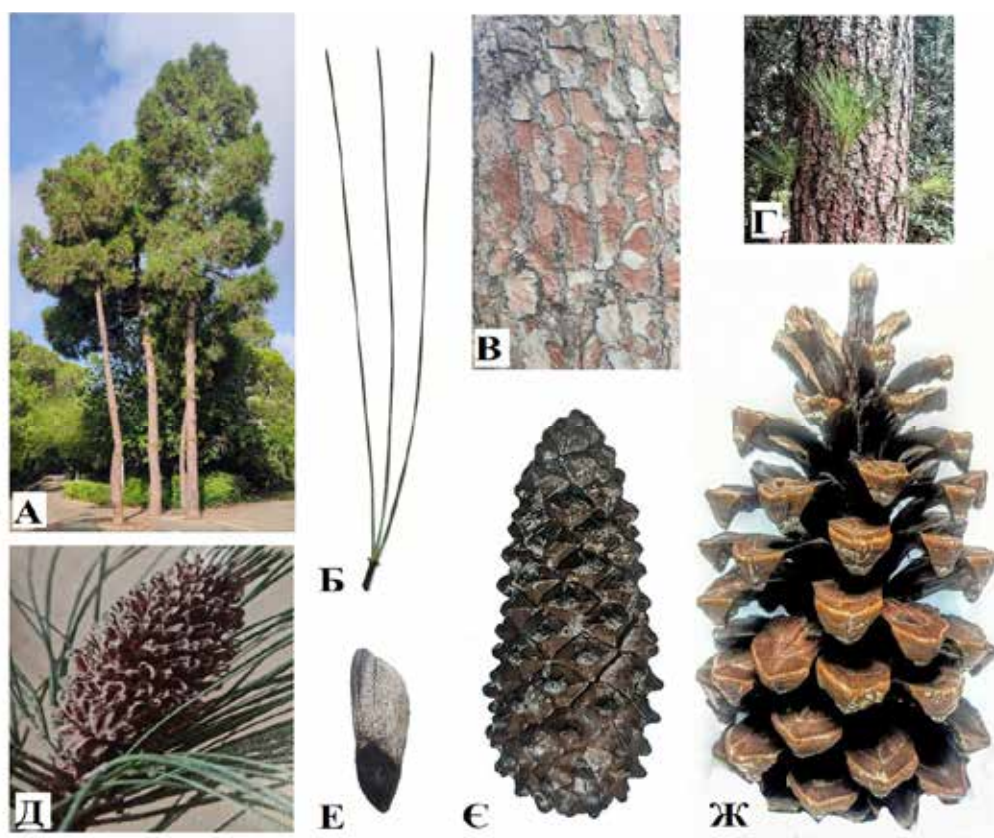


Рис. 1. *Pinus canariensis* C. Sm., 1825: А – стовбур і крона; Б – хвоя; В – кора; Г – пагони на стовбурі; Д – чоловіча шишка; Е – крило насінини; Є, Ж – жіночі шишки

найдовше і найщільніше голчасте листя, досить довга хвоя, щільна й виразно поникла донизу. Довжина її у межах регіону нашого дослідження сягає 29,13–33,31 см за товщини 0,82–1,13 мм. По-друге, хвоїнки у цього виду соснових на гілках розміщені (незалежно від того, представлені вони ауксипластами чи брахіпластами) у низеньких пазухах кластерів висотою 1,49–1,53 см не по дві, як у більшості видів соснових, а по три вкупі (див. рис. 1 Б). Голки з їх верхньої поверхні опуклі, а з нижньої – увігнуті досередини, що добре помітно за формою їх поперечних перерізів. Хвоїнки мають одну центральну жилку, оточену трансфузійною тканиною, котра густо пронизана багаточисельними смоляними каналами (Новіков і Барабаш-Красни, 2015). Бічні краї хвоїнок оснащені дрібними зазубринками мікроскопічних розмірів. Звисаючи донизу голки хвої поступово звужуються у напрямку до гострих вільних їх кінчиків. Молодші й старші за віком дерева виразно розмежовуються за забарвленням їхньої хвої. У перших із них воно чітко виражене і блакитно-зелене, у других – однотонне

і тьмяно-зелене. Тривалість життєздатності хвої цієї сосни становить від одного до двох років, часом (українською) – до трьох. Просторова орієнтація усіх хвоїнок щодо поверхні ґрунту завжди є однотиповою, тобто своїми загостреними вільними кінчиками вони спрямовані донизу. Саме через це хвоя у цієї сосни завжди виглядає пониклою. Це дозволяє цим деревам існувати навіть там, де у місцях зростання їх начисто відсутні природні прісні водойми, зокрема на безводній застиглій вулканічній лаві. Ці дерева цілком благополучно живуть за рахунок виключно тієї води, котра збирається на поверхні їхньої хвої. Накопичившись там за кількістю до максимально можливого рівня, вона стікає з їх гладкої вилискуючої поверхні вниз, падаючи крапля за краплею з майже вертикально звислих донизу загострених кінчиків хвоїнок на ґрунтовий субстрат попід соснами. Через це у лісах, де домінуючою формою деревного населення є саме ці деревні рослини, добре зволожені згаданим вище способом ґрунту завжди бувають укріплені потужним рослинним підростом, представленим сукупністю різнома-

нітної як низькорослої деревної (чагарникової), так і трав'янистої рослинності. Отже, сформовані ліси є неоціненними постачальниками прісної води – основи життєзабезпечення як їх самих, так і усього живого, оселеного на їх теренах. Функціонують вони як своєрідна жива рослинна губка, збираючи і накопичуючи воду, постачаючи її усім організмам у цілком достатніх кількостях, необхідних задля підтримання на належному рівні життєздатності особин їх популяцій (Peters, 2001).

Сосна канарська витримує зниження температури середовища взимку від -8°C до -10°C , а літній максимум температур сягає $+42^{\circ}\text{C}$ (Peters et al., 1999; Peters, 2001). Отже, рівень витривалості до впливу на її особин температурного чинника є досить-таки широким. Недаремно *P. canariensis* акліматизовано було у низці тих країн, де нерідко бувають лісові пожежі (США, Чилі, Кіпр, Іспанія, Ізраїль, Австралія, Південна Африка). Рівень виживання даного виду є вражаюче високим. Товста, щільна, шарувата за структурою кора горить украй повільно й дуже довго, через що до вогнетривкої деревини полум'я переважно не доходить. Отже, навіть за найпотужніших лісових пожеж, коли зазвичай по завершенні їх незайманою вогнем залишається лише підземна частина сосен канарських, ущент згоріла наземна їх частина поновлюється дуже швидко – всього лише за 8–9 років. Високий рівень мінливості фенотипу канарської сосни, пристосування її особин до температурних умов середовища, близьких до стресових значень, є запорукою досягнення і збереження цими деревами за певного стабільного температурного рівня життєздатності їх особин у згаданій вище ситуації (González-Rodríguez et al., 2019).

Комплекс провідних структур сосни канарської еустела – система, що забезпечує транспорт нею води й розчинених у ній як мінеральних, так і органічних речовин, представлена двома її тканинними формациями протилежно скерованої дії – ксилемою і флоемою. Ефективне переміщення речовин у двох протилежних напрямках забезпечується при цьому функціонуванням двох різних провідних тканин. Як відомо, за висхідною течією рух поживних речовин відбувається по ксилемі, а за низхідною – по флоемі. Ксилема – комплекс, утворений сукупністю двох провідних елементів – трахей і трахеїд, а також механічних волокон, що формують провідну судинну систему,

зосереджену у деревині *P. canariensis* (Решетняк та ін., 2006; Одінцова і Ругузова, 2013). Трахеї (судини) – камбіального походження компоненти ксилеми, представлені мертвими клітинами витягнутої форми довжиною близько 10 см з товстими бічними стінками. Верхня й нижня стінки у них відсутні внаслідок дуже ранньої руйнації під час розвитку. Трахеїди – витягнуті у довжину мертві здерев'янілі клітини з косими поперечними стінками, щільно притисненими одна до одної. Трахеї та трахеїди забезпечують висхідне переміщення води та мінеральних речовин від підземних до надземних органів живлення рослини (Решетняк та ін., 2006; Одінцова і Ругузова, 2013; Машевська та ін., 2020).

Натомість без'ядерними ситовидними трубками здійснюється низхідна течія води з розчиненими у ній органічними речовинами (продуктами фотосинтезу цих дерев) у двох протилежних напрямках, а саме: від їх хвої до шишок і до кореневої системи. Флоема – провідний комплекс, розміщений у лубі. Наслідком його дії є пожиттєво безупинне низхідне переміщення води із розчинених в ній різними поживними речовинами, скероване від місця їх утворення, тобто від хвої, до усіх інших органів. Ксилема і флоема здійснюють не тільки транспортну функцію, але і механічну й запасуючу. Зазвичай вони розміщені у центрі органів рослин (кореня, стебла, листя), утворюючи осьовий циліндр їх провідної системи – стелу.

Сосна канарська – однодомна рослина. На ній формуються шишки двох категорій – пилкові чоловічі (мікростробіли) та плідні жіночі (макростробіли). Перші з них (див. рис. 1 Д) інтенсивно жовті або жовто-оранжеві, дрібні, розміщені групами спіралеподібно в основі весняних пагонів канарської сосни. Вони представлені спорофілами із двома повністю прирослими мікроспорангіями на абаксимальній їх поверхні. Мікроспорогенез здійснюється симультанно. З дозрілого мікроспорангія висипається пилок. Чоловічі гамети утворюються у пилових зернах по вильоті їх із спорангію. Отже, розвиток їх відбувається екзоспорично. Чоловічі гамети цієї сосни – це спермії-ядра, щільно розміщені впритул одне до одного у цитоплазмі генеративних клітин. На момент запилення пилкові зерна її є 4–5-клтинними. Формування і подальше транспортування нерухомих спермій до яйцеклітин здійснюється пиловою труб-

кою у процесі сифоногамії. Пилкові зерна оснащені двома повітряними мішками (Решетняк та ін., 2006).

Жіночі шишки – великі (до 11,51–11,63 см), переважно поодинокі, перебувають на верхівках весняних пагонів. Вони здебільшого обернено яйцеподібні (див. рис. 1 Ж), значно рідше – вузькоциліндричні (див. рис. 1 Є), рудувато-коричневі або темнокоричневі, вилискуючі. Низькопірамідальні кінчики лусок сім'яних шишок міцно зрослі із насінинами. Їхні щитки високо піднесені, здуті й оснащені гострим апофізом (Page, 1990). На плоских лускоподібних листочках жіночих шишок розміщуються відкритонасінні зачатки, надійно прирослі до них крилом (див. рис. 1 Е).

Деревна життєва форма сосни канарської, притаманні їй роздільностатевість стробілів і високий рівень продукування нею пилку забезпечують ефективний перебіг у неї анемофілії (Neri et al., 2009; Одінцова і Ругузова, 2013). У дозрілих мікроспорангіях цих голонасінних стінки клітин епідермісу потовщені, за винятком тих із них, котрі містяться на лінії його розкривання (Singh, 1978; Перфільєва і Перфільєва, 2008), що сприяє вивільненню дозрілого насіння.

Сосна канарська від філогенетично передуючих їй предків чітко відрізняється тим, що саме у неї, як і у інших хвойних, уперше в історії розвитку рослинного світу з'явилося насіння – новий орган, котрий формується з її насінного зачатка – макроспорангія. У ньому утворюються макроспори, з котрих у подальшому розвивається жіночий гаметофіт. Запліднення його є результатом функціонування мікростробілів цієї сосни, які здебільшого мають обернено-яйцеподібну, рідше – вузькоциліндричну форму, будучи утвореними кількома десятками спорофілів, розміщених спіралеподібно. Результатом процесів запилення і запліднення гамет є започаткування формування нового спорофіта – зародка насінини, що розвивається цілком відкрито на насіннєвих лусках жіночих шишок, не маючи при цьому жодних можливостей для здійснення ним будь-якого типу контактів із водним середовищем. Редуковані гаметофіти сосни канарської у процесі тривалої еволюції дуже надійно пристосувалися до життя на спорофіті, що продукує як мікроспори, так і макроспори. Перші з них утворюються у мікроспорангіях чоловічих шишок (див. рис. 1 Д), а другі – у макроспорангіях шишок жіночих (див. рис. 1 Ж).

Тривалість циклу статевого розмноження від початку цвітіння цієї сосни до моменту утворення і повного досягання її насіння у Середземноморському флористичному регіоні з його м'яким субтропічним кліматом сягає двох років. Довжина дозрілого насіння – 1,34–1,51 см. Розповсюдження його здійснюється вітром.

Сосна канарська здатна змінювати рівні вмісту в своєму організмі пігментів та антиоксидантів, котрі зумовляють зміни рівня інтенсивності функціонування у досліджуваних дерев показників їх продихового режиму (González-Rodríguez et al., 2019). Встановлено, що від висоти перебування сосен канарських над рівнем моря залежать особливості структури їх хлоропластів (Jiménez & Morales, 2001), які зумовлюють ступінь флюоресценції хлорофілу їхньої хвої (Jiménez et al., 1997; Tausz et al., 1997, 1999a, b). Згадані вище значення цих показників є надійними індикаторами прояву у досліджуваних дерев симптоматики їх оксидативного стресу. Рівні останнього свідчать про те, що для досліджуваних нами об'єктів це є явищем адаптивним, що дозволяє соснам канарським вижити, надійно пристосувавшись до інших умов середовища перебування, змінивши задля цього певним чином межі середніх рівнів декотрих із анатомічних і екофізіологічних показників. Доцільно зауважити, що фотосинтетична активність хвої сосни канарської характерна для її особин у межах Середземноморського флористичного регіону протягом цілого року, а найвищі значення її показників завжди припадають на весну й на осінь (Peters et al., 2003, 2008).

Висновки

Сосна канарська – екологічно досить лабільний вид. До нових умов навколишнього середовища проживання вона здатна досить швидко та надійно пристосовуватися, видозмінюючи деякі екологічні, анатомічні та фізіологічні показники. Високий рівень мінливості фенотипу канарської сосни, пристосування її особин до температурних умов середовища, близьких до стресових значень, є запорукою досягнення і збереження цими деревами життєздатності особин навіть в умовах високих температур і низької вологості. *P. canariensis*, опинившись у нових, незвичних для неї умовах перебування, здатна відносно швидко і надійно пристосовуватися до нового середовища, видозмінивши при цьому швидкість перебігу низки морфологічних і еко-

фізіологічних спроможностей (продиховий режим, структуру хлоропластів, рівень вмісту пігментів та антиоксидантів, ступінь флюоресценції хлорофілу хвої, фотосинтетичну активність хвої тощо).

Тривала інтродукція та аклімація цієї сосни у межах теренів Середземноморського флористичного регіону є свідченням доцільності введення її тут як виду-культивару у практику лісівництва.

Список використаної літератури

- Атлас Світу / за ред. І. Руденко, О. Вакуленко. Київ : ДНВП «Картографія», 2005. 336 с.
- Машевська А.С., Єрмейчук Т.М., Іванців О.Я. Ботаніка : навчальний посібник. Луцьк : ПП «Іванюк В.П.», 2020. 181 с.
- Новіков А., Барабаш-Красни Б. Сучасна систематика рослин. Загальні питання. Львів : Ліга-прес, 2015. 686 с.
- Одінцова А.В., Ругузова Г.І. Особливості репродуктивних процесів у голонасінних. Розвиток гаметофітів, запилення та запліднення. *Біологічні студії*. 2013. Т. 7. № 2. С. 217–238.
- Перфільєва А.П., Перфільєва М.В. Ботаніка. Лабораторні роботи. Київ : Центр учбової літератури, 2008. 208 с.
- Познякова С.І., Лось С.А. Декоративна дендрологія. Голонасінні. Харків : ДБТУ, 2023. 325 с.
- Решетняк Т.А., Бобкова І.А., Варлахова Л.В. Ботаніка. Київ : Здоров'я, 2006. 296 с.
- Christenhusz M.J. M., Reveal J.L., Farjon A., Gardner M.F., Mill R.R., Chase M.W. A new classification and linear sequence of extant gymnosperms. *Phytotaxa*. 2011. Vol. 19. P. 55–70.
- Christenhusz M.J.M., Byng J.W. The number of known plants species in the world and its annual increase. *Phytotaxa*. 2016. Vol. 261. № 3. P. 201–217. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.261.3.1>.
- Del Arco M.J., Pérez de Paz P.L., Rodriguez Delgado O., Salas Pascual M., Wildpret de la Torre W. Atlas Cartográfico de los Pinares Canarios: II. Tenerife. Dirección General de Medio Ambiente y Conservación de la Naturaleza, Consejería de Política Territorial, Gobierno de Canarias, 1992. 93 p.
- Farjon A. A Handbook of the World's Conifers. Leiden, Boston : E.J. Brill, 2010. 1153 p.
- González-Rodríguez A.M., Brito P., Lorenzo J.R., Jiménez M.S. Photosynthetic performance in *Pinus canariensis* at semiarid Treeline: phenotype variability to cope with stressful environment. *Forests*. 2019. Vol. 10. P. 845.
- Jiménez M.S., Luis V.C., Peters J., González-Rodríguez A.M., Morales D. Ecophysiological studies on *Pinus canariensis*. *Phyton, Annales Rei Botanicae, Horn*. 2005. Vol. 45. № 3. P. 169–177.
- Jiménez M.S., Tausz M., Zellnig G., Peters J., Grill D., Morales D. Environmental stresses and antioxidative responses of *Pinus canariensis* at different field stands in Tenerife. *Phyton*. 1997. Vol. 37. P. 109–114.
- Jiménez M.S., Morales D. Pino Canario. Ejemplo de adaptación. *Investigación y Ciencia*. 2001. Vol. 302. P. 23–24.
- Nepi M., Aderkas P., Wagner R., Mugnaini S., Coulter A., Pacini E. Nectar and pollination drops: how different are they? *Annals of Botany*. 2009. Vol. 104. № 2. P. 205–219.
- Page C.N. General tracts of Conifers. *The Families and Genera of Vascular Plants. I. Pteridophytes and Gymnosperms*. 1990. P. 290–292.
- Peters J. Ecofisiología del Pino canario. Tesis Doctoral, Universidad de La Laguna. Spain, 2001 [Електронний ресурс]. URL: <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/10378> (дата звернення 30.03.2024).
- Peters J., Gonzalez-Rodriguez A.M., Jiménez M.S., Morales D., Wieser G. Influence of canopy position, needle age and season on the foliar gas exchange of *Pinus canariensis*. *European Journal of Forest Research*. 2008. Vol. 127. P. 293–299.
- Peters J., Morales D., Jiménez M.S. Gas exchange characteristics of *Pinus canariensis* needles in a forest stand on Tenerife, Canary Islands. *Trees*. 2003. Vol. 17. P. 492–500.
- Peters J., Jiménez M.S., Morales D. Effect of extreme temperature on quantum yield of fluorescence and membrane leakage of the Canarian endemic pine (*Pinus canariensis*). *Zeitschrift für Naturforschung*. 1999. Vol. 54. P. 681–687.
- Singh H. Embryology of gymnosperms. Berlin-Stuttgart : Gebrüder Borntraeger, 1978. 304 p.
- Tausz M., Grill D., Jiménez M.S., Morales D. A physiological comparison between environmental effects on Canary pine in Tenerife and Norway spruce in Austria. *Forestry Sciences. Impacts of Global Change on Tree Physiology and Forest Ecosystems. Forestry Sciences*. 1997. P. 103–110.

Tausz M., Morales D., Jiménez M.S., Grill D. Photoprotection in forest trees under field conditions. *Phyton*. 1999a. Vol. 39. P. 25–28.

Tausz M., Wonisch A., Peters J., Jiménez M.S., Morales D., Bytnerowicz A., Arbaug M.J., Grill D. Complex patterns of the antioxidative defense systems in pine species at field plots subjected to different environmental stress combinations. *Different pathways through life: Biochemical aspects of plant biology and medicine*. 1999b. P. 181–189.

References

- Rudenko, I. (2005). Atlas Svitu [Atlas of the World]. Kyiv : DNVP “Kartoghrafija” [in Ukrainian].
- Mashevsjka, A.S., Jermejchuk, T.M., & Ivanciv, O.Ja. (2020). Botanika : navchalnyj posibnyk dlja vstupnykiv do zakladiv vyshhoji osvity [Botany: a study guide for entrants to institutions of higher education]. Lucjk : PP Ivanjuk V.P. [in Ukrainian].
- Novikov, A., & Barabash-Krasny, B. (2015). Suchasna systematyka roslyn. Zaghaljni pytannja [Modern taxonomy of plants. General questions]. Lviv : Ligha-pres [in Ukrainian].
- Odincova, A.V., & Rughuzova, Gh.I. (2013). Osoblyvosti reproduktyvnykh procesiv u gholonasinnykh. Rozvytok ghametofitiv, zapylennja ta zaplidnennja [Peculiarities of reproductive processes in gymnosperms. Development of gametophytes, pollination and fertilization]. *Biologichni studiji [Studia Biologica]*, 7, 217–238 [in Ukrainian].
- Perfiljeva, A.P., & Perfiljeva, M.V. (2008). Botanika. Laboratorni roboty [Botany. Laboratory work]. Kyiv : Centr uchbovohoji literatury [in Ukrainian].
- Poznjakova, S.I., & Losj, S.A. (2023). Dekorativna dendrologhija. Gholonasinni [Decorative dendrology. Gymnosperms]. Kharkiv : DBTU [in Ukrainian].
- Reshetnjak, T.A., Bobkova, I.A., & Varlakhova, L.V. (2006). Botanika [Botany]. Kyiv : Zdorovja [in Ukrainian].
- Christenhusz, M.J.M., Reveal, J.L., Farjon, A., Gardner, M.F., Mill, R.R., & Chase, M.W. (2011). A new classification and linear sequence of extant gymnosperms. *Phytotaxa*, 19, 55–70 [in English].
- Christenhusz, M.J.M., & Byng, J.W. (2016). The number of known plants species in the world and its annual increase. *Phytotaxa*, 261, 201–217. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.261.3.1> [in English].
- Del Arco, M.J., Pérez de Paz, P.L., Rodríguez Delgado, O., Salas Pascual, M., & Wildpret de la Torre, W. (1993). Atlas Cartográfico de los Pinares Canarios: II. Tenerife. Dirección General de Medio Ambiente y Conservación de la Naturaleza, Consejería de Política Territorial, Gobierno de Canarias [in English].
- Farjon, A. (2010). A Handbook of the World's Conifers. Leiden, Boston : E.J. Brill [in English].
- González-Rodríguez, A.M., Brito, P., Lorenzo, J.R., & Jiménez, M.S. (2019). Photosynthetic performance in *Pinus canariensis* at semiarid Treeline: phenotype variability to cope with stressful environment. *Forests*, 10, 845 [in English].
- Jiménez, M.S., Luis, V.C., Peters, J., González-Rodríguez, A.M., & Morales, D. (2005). Ecophysiological studies on *Pinus canariensis*. *Phyton, Annales Rei Botanicae, Horn*, 45, 169–177 [in English].
- Jiménez, M.S., Tausz, M., Zellnig, G., Peters, J., Grill, D., & Morales, D. (1997). Environmental stresses and antioxidative responses of *Pinus canariensis* at different field stands in Tenerife. *Phyton*, 37, 109–114 [in English].
- Jiménez, M.S., & Morales, D. (2001). Pino Canario. Ejemplo de adaptación. *Investigación y Ciencia*, 302, 23–24 [in English].
- Nepi, M., Aderkas, P., Wagner, R., Mugnaini, S., Coulter, A., & Pacini, E. (2009). Nectar and pollination drops: how different are they? *Annals of Botany*, 104, 205–219 [in English].
- Page, C.N. (1990). General tracts of Conifers. *The Families and Genera of Vascular Plants. I. Pteridophytes and Gymnosperms*, 290–292 [in English].
- Peters, J. (2001). Ecofisiología del Pino canario. Tesis Doctoral [Ecophysiology of the Canarian Pine. Doctoral Thesis]. Universidad de La Laguna. Spain. [Electronic resource] URL: <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/10378> (access date 30.03.2024) [in Spanish].
- Peters, J., Gonzalez-Rodríguez, A.M., Jiménez, M.S., Morales, D., & Wieser, G. (2008). Influence of canopy position, needle age and season on the foliar gas exchange of *Pinus canariensis*. *European Journal of Forest Research*, 127, 293–299 [in English].
- Peters, J., Morales, D., & Jiménez, M.S. (2003). Gas exchange characteristics of *Pinus canariensis* needles in a forest stand on Tenerife, Canary Islands. *Trees*, 17, 492–500 [in English].

Peters, J., Jiménez, M.S., & Morales, D. (1999). Effect of extreme temperature on quantum yield of fluorescence and membrane leakage of the Canarian endemic pine (*Pinus canariensis*). *Zeitschrift für Naturforschung*, 54, 681–687 [in English].

Singh, H. (1978). Embryology of gymnosperms. Gebrüder Borntraeger. Berlin-Stuttgart [in English].

Tausz, M., Grill, D., Jiménez, M.S., & Morales, D. (1997). A physiological comparison between environmental effects on Canary pine in Tenerife and Norway spruce in Austria. *Forestry Sciences. Impacts of Global Change on Tree Physiology and Forest Ecosystems. Forestry Sciences*, 103–110 [in English].

Tausz, M., Morales, D., Jiménez, M.S., & Grill, D. (1999a). Photoprotection in forest trees under field conditions. *Phyton*, 39, 25–28 [in English].

Tausz, M., Wonisch, A., Peters, J., Jiménez, M.S., Morales, D., Bytnerowicz, A., Arbaug, M.J., & Grill, D. (1999b). Complex patterns of the antioxidative defense systems in pine species at field plots subjected to different environmental stress combinations. *Different pathways through life: Biochemical aspects of plant biology and medicine*, 181–189 [in English].

Отримано: 31.01.2025

Прийнято: 18.02.2025



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 11
Український журнал природничих наук
№ 11

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

УДК 582.26/.27:504.61:355.01](282)(477.41)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.10>

ФІТОПЛАНКТОН ЯК ІНДИКАТОР СТАНУ ВОДНОЇ ЕКОСИСТЕМИ МАЛОГО ВОДОСХОВИЩА

Ю. С. Шелюк¹, Д. І. Кошмеринська², О. П. Житова³

У роботі обговорюються деякі актуальні питання можливості застосування фітопланктону для оцінки якості вод малих водосховищ на прикладі Житомирського водосховища за результатами досліджень 2023–2024 рр. та раніше опублікованими авторськими даними за 2004–2007 рр. і 2008–2017 рр.

Встановлено, що після очищення русла р. Тетерів у 2022 р. у Житомирському водосховищі переважають планктонно-бентосні (37,0% від числа індикаторних видів) і планктонні (36,6%) форми водоростей. За температурною приуроченістю перевагу мають евритермні водорості й форми, приурочені до помірного температурного режиму, а також теплолюбні види водоростей (відповідно 47,2%, 27,3% і 18,6%). Зростання частки термофілів за останнє десятиліття значною мірою зумовлене кліматичними змінами. За відношенням водоростей до умов реофільності та насичення вод киснем переважають індиференти (67,3%). Серед індикаторів галобності значну перевагу мають олігогалоби-індиференти – 70,2%, за відношенням до рН – індиференти (46,8%) й алкаліфіли (37,9%). Проведений аналіз рівня органічного забруднення за системою Ватанабе засвідчив домінування еврисапробів (63,4%) та сапроксенів (25,7%). За сапробіологічними показниками водоростей-індикаторів різних типів забруднюючих речовин встановлено пріоритет індикаторів II класу якості вод (53,0%), при цьому статистично значимими є й індикатори III класу (37,8%).

За більшістю досліджуваних гідрохімічних, гідрофізичних і гідробіологічних показників (біомасою, інтенсивністю фотосинтезу, продукційно-деструкційним коефіцієнтом) Житомирське водосховище можна віднести II–III класу якості вод.

Встановлено тенденцію до врівноваження продукційно-деструкційних процесів ($A/R=1,22\pm 0,08$) у 2023–2024 рр. після проведення робіт з очищення русла річки Тетерів та спускання води з ниж-

¹ доктор біологічних наук, професор,
професор кафедри ботаніки, біоресурсів і збереження біорізноманіття
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: Shelyuk_Yulya@ukr.net
ORCID: 0000-0001-6429-1028

² учениця 9 класу
(Ліцей № 24, м. Житомир)
e-mail: dashakoshmerynskaya@gmail.com
ORCID: 0009-0004-3069-598X

³ доктор біологічних наук, професор,
професор кафедри лісівництва, лісових культур та таксації лісу
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail: elmi1969@meta.ua
ORCID: 0000-0003-2572-4163

нього б'єфу водосховища через видалення надлишку відмерлої автохтонної органічної речовини та політантів у складі донних комплексних сполук.
Загалом упродовж 2023–2024 рр. у товщі води Житомирського водосховища виявлено 173 види водоростей, представлених 181 внутрішньовидовим таксоном, включно з тими, що містять номенклатурний тип виду, із 8 відділів.

Ключові слова: фітопланктон, якість води, Житомирське водосховище, первинна продукція, сапробність.

PHYTOPLANKTON AS AN INDICATOR OF THE STATE OF THE WATER ECOSYSTEM OF A SMALL RESERVOIR

Yu. S. Sheliuk, D. I. Koshmerynska, O. P. Zhitova

The paper discusses some topical issues of the possibility of using phytoplankton to assess the water quality of small reservoirs using the example of Zhytomyrsky according to the results of research in 2023–2024. and previously published author's data for 2004–2007 and 2008–2017. It was established that after cleaning the river bed Teteriv in 2022 in the Zhytomyr Reservoir, planktonic (37.0% of the number of indicator species) and planktonic (36.6%) forms of algae prevail. In terms of temperature limitation, eurythermic algae and forms that are limited to a moderate temperature regime, as well as thermophilic algae species (47.2%, 27.3% and 18.6%, respectively) have an advantage. The increase in the share of thermophilic forms over the last decade is probably the result of climate change. In relation to algae to the conditions of rheophilicity and saturation of water with oxygen, indifferents prevail (67.3%). Among the indicators of haloness, oligohalob-indifferents have a significant advantage – 70.2%, in relation to pH – indifferents (46.8%) and alkaliphiles (37.9%). The analysis of the level of organic pollution according to the Watanabe system showed the dominance of Eurysaprobies (63.4%) and saproxenes (25.7%). Based on saprobiological indicators of algae indicators of various types of pollutants, the priority of class II indicators of water quality was established (53.0%), while class III indicators were also statistically significant (37.8%). According to hydrochemical, hydrophysical and hydrobiological parameters (biomass, photosynthesis intensity, production-destruction coefficient), the Zhytomyr Reservoir mostly corresponds to the II–III class of water quality. A tendency to balance production and destruction processes ($A/R=1.22\pm0.08$) in 2023–2024 was established. after carrying out works on cleaning the bed of the Teteriv River and draining water from the lower basin of the reservoir due to the removal of an excess of dead autochthonous organic matter and pollutants in the bottom complex compounds. In general, during 2023–2024 in the water column of the Zhytomyr Reservoir, 173 species of algae, represented by 181 intraspecific taxa, including those containing the nomenclatural type of the species, from 8 divisions were found.

Key words: phytoplankton, water quality, Zhytomyr Reservoir, primary products, saprobity.

Вступ

Особливістю сучасного підходу до оцінки екологічного стану водних екосистем є пріоритетне значення біоти. Це положення загальноприйняте в країнах Європейської спільноти і законодавчо закріплене у Водно-рамковій директиві Європейського Союзу 2000/60/ЄС (Водна..., 2006; Терміни..., 2015). Концепцією директиви насправді є індикація із наданням переваги біотичній складовій. Абіотичні чинники належать до системи екологічної індикації стану водних об'єктів як складова частина, що забезпечує життєдіяльність біоти. Така орієнтація оцінки екологічного стану зумовлена тим, що в екосистемі чинники середовища вза-

ємопов'язані; у водні об'єкти надходить досить широкий спектр політантів, значну частку яких не можна кількісно визначити, тому на перший план виходить саме реакція біотичних компонентів (угруповань або окремих видів гідробіонтів) на комплексний вплив абіотичних чинників (Сталий..., 2016).

Особливу чутливість до антропогенного навантаження мають урбанізовані водойми. Надходження у них господарсько-побутових та дренажних вод, змивів із міських територій, приміських сільськогосподарських угідь тощо призводить до хронічної стресової ситуації усіх компонентів водних екосистем, що, безумовно, впливає на складну

систему трофічних зв'язків гідробіонтів. Отже, під час розробки системи управління річковими басейнами та обґрунтування конкретних заходів щодо їх раціонального використання, відтворення та охорони важлива роль належить оцінці екологічного стану водних екосистем (Афанасьєв та ін., 2015, Проєкт..., 2024).

Особливо нагальними є подібні дослідження для антропогенно змінених унаслідок зарегулювання річок та створених на них малих водосховищ.

Мета роботи – здійснити оцінку сучасного екологічного стану малого водосховища на прикладі Житомирського водосховища за індикаторними характеристиками водоростей, кількісними параметрами розвитку їх угруповань, інтенсивністю первинної продукції фітопланктону та співвідношенням інтенсивності продукційно-деструкційних процесів.

Матеріал і методи

Житомирське водосховище було створене на р. Тетерів у 1964 р. Знаходиться у м. Житомир ($50^{\circ}14'12''$ пн. ш., $28^{\circ}36'26''$ сх. д.). Водойма має довжину греблі 145 м і висоту 22 м, площу водного дзеркала 390 га, повний об'єм 13 млн м³, помірний водообмін (відношення об'єму стоку через гідровул до повного об'єму водосховища) – 0,29 (Мокрицький, 1999).

Альгологічні проби відбирали упродовж вегетаційних сезонів 2023–2024 рр. на двох стаціонарних станціях на Житомирському водосховищі стандартними методами (Методи..., 2006). Для їх камерального опрацювання використовували камеру Нахотта об'ємом 0,05 см³. Визначення систематичного складу водоростей проводили за загальновідомими правилами (Tsarenko et al., 2006, 2009, 2011) відповідно до міжнародного електронного каталогу AlgaeBase (Guiry & Guiry, 2024). Індекс Шеннона (Ignatiades, 2020) визначали за біомасою фітопланктону, оскільки вона є показником реалізованої перинної продукції (Shelyuk, 2019, 2024).

Інтенсивність фотосинтезу фітопланктону A_{max} та деструкцію органічної речовини R визначали кисневою модифікацією скляного методу на горизонті максимального фотосинтезу згідно з раніше описаними методами у попередніх роботах (Shelyuk & Shcherbak, 2018; Shelyuk, 2019).

Біоіндикаційний аналіз проведено з урахуванням індикаторних характеристик водоростей, представлених у моногра-

фії Софії Барінової (Barynova et al., 2006) та рекомендацій, наведених у роботі (Cupertino et al., 2019).

Гідрохімічні та гідрофізичні аналізи були виконані в контрольно-вимірювальній лабораторії КП «Житомирводоканал» (свідоцтво про реєстрацію № 64 від 21.10.2013 р.) і на кафедрі ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття Житомирського державного університету імені Івана Франка.

Результати

Аналіз отриманих результатів досліджень показав, що Житомирське водосховище за прозорістю належить до II класу якості вод. За вмістом розчиненого у воді кисню та величиною перманганатної окислюваності досліджувана водойма відповідає II класу якості вод, за концентрацією загального заліза – III класу, за критеріями забруднення соляового складу прісних вод (за концентрацією хлоридів) – II класу. За вмістом амонійного і нітритного нітрогену Житомирське водосховище належить до II класу якості вод, за вмістом нітратного нітрогену й фосфору фосфатів його можна віднести до III класу.

Порівняння отриманих за 2023–2024 рр. гідрохімічних показників із літературними даними (Shelyuk & Shcherbak, 2018) дозволило встановити основні тенденції їх змін. Так, значення рН упродовж 2005–2024 рр. були в межах 6,84–9,27, кольоровості – 12–67°. Найвищі середні значення рН фіксували в 2007 р. ($8,18 \pm 0,01$), найнижчі – в 2015 ($7,69 \pm 0,02$), кольоровості води – в 2008 та 2010 роках ($49,2 \pm 0,15^{\circ}$ і $49,1 \pm 0,11^{\circ}$), найнижчі – у 2017 р. ($21,1 \pm 0,08^{\circ}$). Уміст нітратного нітрогену залишався у межах 0,02–9,21 мг N/дм³, нітритного – 0,001–0,103 мг N/дм³, амонійного – 0,05–0,90. Найвищі середні значення нітратного нітрогену відмічали у 2012 р. ($1,88 \pm 0,04$ мг N/дм³) та 2015 р. ($1,81 \pm 0,03$ мг N/дм³). У 2016 р. спостерігали найнижчі середні значення нітратного (0,04 мг N/дм³) і нітритного нітрогену ($0,005 \pm 0,001$ мг N/дм³).

Динаміка амонійного нітрогену за роками досліджень характеризувалася стрибкоподібними змінами. Найвищі його середні значення відмічали в 2013 р. ($0,55 \pm 0,01$ мг N/дм³) і 2017 р. ($0,48 \pm 0,01$ мг N/дм³), найнижчі – в 2009 р. ($0,18 \pm 0,01$ мг N/дм³). Аналіз змін температури води водойми за період 2005–2024 рр. указує на тенденцію до її підвищення майже на 1°C. Середньорічна температура води Житомирського водосховища сягає $14,21 \pm 0,23^{\circ}\text{C}$. Подібна тенденція є загальною

для водойм Європи. Закономірність зміни температури води Житомирського водосховища за десятирічний період описується рівнянням $y(t)=14,1891+0,9887\cdot\log_{10}(x)$, де x – роки.

Лужність води була в межах 2,52–3,51 мг N/дм³ за максимальних значень у 2006, 2010 та 2014 рр. Загальна жорсткість найменшою була у 2016 р. ($3,75\pm 0,18$ мг/дм³), а найбільшою – у 2007 та 2024 рр. ($4,34$ і $4,38$ відповідно).

Загалом за вмістом специфічних речовин токсичної дії (міді, цинку, марганцю, свинцю) вода Житомирського водосховища належить до II–IV класу якості вод. За концентрацією міді і цинку водойма належить до II класу якості вод, за вмістом свинцю – до III класу. Періодично спостерігали підвищений уміст кадмію та марганцю (IV клас якості вод).

Найвищі середні значення умісту загального заліза фіксували впродовж 2005–2007 рр. ($0,71\pm 0,001$ мг/дм³), а найнижчі – 2015–2016 рр. ($0,32\pm 0,001$ мг/дм³). Загальний вміст кремнію ($Si_{\text{зар}}$) у воді Житомирського водосховища впродовж десяти років спостережень був у межах $1,4$ – $7,9$ мг/дм³.

Упродовж 2023–2024 рр. у товщі води Житомирського водосховища виявлено 173 види водоростей, представлених 181 внутрішньовидовим таксоном, включно з тими, що містять номенклатурний тип виду, із 8 відділів: Cyanobacteria – 21 вид, представлений 24 внутрішньовидовими таксонами – 12,1% від загального числа видів, Euglenozoa – 16 (17 в.в.т.) – 9,2%, Ochrophyta – 11 (11) – 6,4%, Bacillariophyta – 54 (55) – 31,3%, Miozoa – 7 (7) – 4,0%, Cryptophyta – 1 (1) – 0,6%, Chlorophyta – 60 (63) – 34,7%, Charophyta – 3 (3) – 1,7%. Провідними були відділи зелених, діатомових, синьо-зелених та евгленових водоростей. Пропорція флори становила 1:1,4:2,3:2,6.

Порівняння отриманих даних щодо таксономічної структури фітопланктону Житомирського водосховища із відомостями, наведеними Ю.С. Шелюк за результатами досліджень 2004–2018 рр. (Shelyuk, 2024) показала появу у складі фітопланктону водосховища двох нових для Українського Полісся видів, які є індикаторами теплих вод, – *Navicula ambigua* Ehr., *Pinnularia acrosphaeria* W. Sm., а також видів, раніше ідентифікованих на незарегульованих ділянках р. Тетерів, – *Ceratium hexacanthum* Gouret; *Peridinium raciborskii* Woloszynska,

Palmellopsis gelatinosa Korshikov, *Treubaria planctonica* (G.M.Smith) Korshikov, *Tetradon caudatum* (Corda) Hansg. Загалом відмічено зростання числа видів водоростей, а також посилення флористичної ролі харових. Зазначені зміни, вірогідно, є наслідком впливу на водну екосистему як природних чинників (змін клімату, особливо аномально спекотного літа 2024 р.), так і діяльності людини, зокрема спускання води нижнього б'єфу водосховища у 2022 р. Останнє було зумовлено військовими діями на території України. Ситуацію, що склалася в таких умовах, вдало використано задля очищення русла р. Тетерів.

Порівняльний аналіз таксономічного складу Житомирського водосховища представлено в табл. 1.

Родовий коефіцієнт, розрахований для фітопланктону Житомирського водосховища, становив 2,3. Провідними родами впродовж вегетаційних сезонів у водосховищі були *Cyclotella* – 9%, *Trachelomonas* Ehrenb. – 6%, *Nitzschia* Hassal, *Chlamydomonas* Ehrenb. і *Navicula* Bory – по 5%, *Desmodesmus* (R.Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald – 4%, *Kephyrion* Pascher і *Peridinium* Ehrenb. – по 3%, які мали пріоритет у видовому багатстві водойми і становили 40% усього її видового і внутрішньовидового багатства фітопланктону.

У сезонному розподілі водоростей водойми спостерігали найбільшу видову представленість у другій половині літа – на початку осені. В усі сезони провідна роль у формуванні флористичного багатства водойм належала відділам Chlorophyta, Bacillariophyta та Euglenozoa, у літньо-осінній період третю позицію за видовим багатством займали Cyanobacteria.

Максимальну частоту трапляння у водоймі мали: *Cyclotella kuetzingiana* Thw. (86, 82%), *Stephanodiscus hantzschii* Grunow (71%), *Chlamydomonas globosa* J. Snow (66%), *Trachelomonas volvocina* Ehrenb. (51%), *Gomphosphaeria apponina* Kütz. (54%), *Hippodonta lueneburgensis* (Grunow) Lange-Bert., D.Metzeltin et A.Witkowski in Lange-Bert. (по 53%), *Nitzschia pusilla* Grunow, *Tabularia fasciculata* (C.Agardh) D.M.Williams et Round (по 51%), *Coelastropherium kuetzingianum* Nägeli (49%), *Peridinium cinctum* (O.F.Müll) Ehrenb. (48%). *Monoraphidium arcuatum* (Korschikov) Hindak (по 45%), *Acutodesmus acuminatus* Lagerh (40%).

Кількісні показники розвитку водоростей планктону Житомирського водо-

Таблиця 1

Таксономічний склад фітопланктону Житомирського водосховища
у різні періоди досліджень

Відділи	Період дослідження		
	2004–2007 рр.	2008–2017 рр.	2023–2024 рр.
Cyanobacteria	<u>21 (21)</u> 17,8	<u>13 (13)</u> 11,9	<u>21 (24)</u> 12,1
Euglenozoa	<u>7 (7)</u> 5,9	<u>13 (17)</u> 11,9	<u>16 (17)</u> 9,2
Ochrophyta	<u>8 (8)</u> 6,8	<u>7 (8)</u> 6,4	<u>11 (11)</u> 6,4
Bacillariophyta	<u>31 (31)</u> 26,5	<u>29 (30)</u> 26,7	<u>54 (55)</u> 31,3
Miozoa	<u>7 (7)</u> 5,9	<u>5 (5)</u> 4,6	<u>7 (7)</u> 4,0
Cryptophyta	<u>1 (1)</u> 0,8	<u>2 (2)</u> 1,8	<u>1 (1)</u> 0,6
Chlorophyta	<u>43 (43)</u> 36,4	<u>40 (40)</u> 36,7	<u>60 (63)</u> 34,7
Charophyta	–	–	<u>3 (3)</u> 1,7
Всього	<u>118 (118)</u> 100,0	<u>109 (115)</u> 100,0	<u>173 (182)</u> 100

Примітка. Над рискою – кількість видових таксонів в абсолютному вираженні, під рискою – те ж у %.

сховища упродовж 2023–2024 рр. коливалися у досить широких межах. Його середні значення чисельності та біомаси сягали відповідно $3,791 \pm 0,05$ млн кл/дм³ та $2,183 \pm 0,045$ г/м³. Середня чисельність весняного фітопланктону становила $3,24 \pm 0,05$ млн кл/дм³, біомаса – $0,47 \pm 0,02$ г/м³; літнього – $13,89 \pm 0,14$ млн кл/дм³ та $4,56 \pm 0,11$ г/м³; осіннього – $4,21 \pm 0,10$ млн кл/дм³ і $3,85 \pm 0,09$ г/м³. За біомасою фітопланктону якість води водойми відповідає III класу якості вод категорії «слабко забруднені».

Загалом структуруючими відділами у формуванні біомаси фітопланктону у водосховищі навесні були Bacillariophyta, Chlorophyta та Euglenozoa, улітку – Cyanobacteria, Chlorophyta Miozoa, восени – Chlorophyta, Euglenozoa, Cyanobacteria, а взимку – Bacillariophyta, Chlorophyta й Miozoa.

У формуванні домінуючого комплексу досліджуваної водойми найвищі частки мали зелені (40% від загальної біомаси фітопланктону), діатомові (38%), синьо-зелені (11%), евгленові водорості (6%). Усього за вегетаційний сезон 2023–2024 рр. було ідентифіковано 66 видів-домінантів. Значне інформаційне різноманіття таких видів зумовлює стійкість екосистеми до антропогенного навантаження.

На основі встановленого видового складу планктонних водоростей проведено біоіндикаційний аналіз. Ідентифіковані водорості є індикаторами якості вод за такими показниками, як місце існування, рН, солоність, реофільність та насичення води киснем, рівень органічного забруднення (сапробність) і трофності, температура води. Часто кожен із виявлених видів був індикатором декількох показників.

Біоіндикаційний аналіз, проведений із урахуванням індикаторних характеристик водоростей за відношенням до місцеперебування (рис. 1А), показав, що у водосховищі переважають планктонно-бентосні (38,0% від числа індикаторних форм) і планктонні (35,9%) мешканці. Частка бентосних видів сягала 19%.

За відношенням фітопланктону до текучості вод та насичення їх киснем переважали індіференти (68,1%), частка водоростей, приурочених до стоячих вод і незначного вмісту кисню, була меншою (28,1%), ще менше ідентифіковано видів, приурочених до текучих вод із високим умістом кисню (2,1%), а також аерофілів (1,1%). Такий розподіл видів-індикаторів текучості вод і насичення киснем пояснюється специфікою гідрологічних і морфометричних умов малого водосховища як водойми зі сповільненим водообміном (рис. 1Б).

За температурною приуроченістю (рис. 1Б) домінували евритермні форми й приурочені до помірного температурного режиму, й також теплолюбні види (відповідно 46,9%, 28,0% і 19,2%). Зростання

частки термофілів за останнє десятиріччя, найвірогідніше, є наслідком глобальних змін клімату.

За відношенням до галобності (рис. 1Г) переважали олігогалофи-індифе-

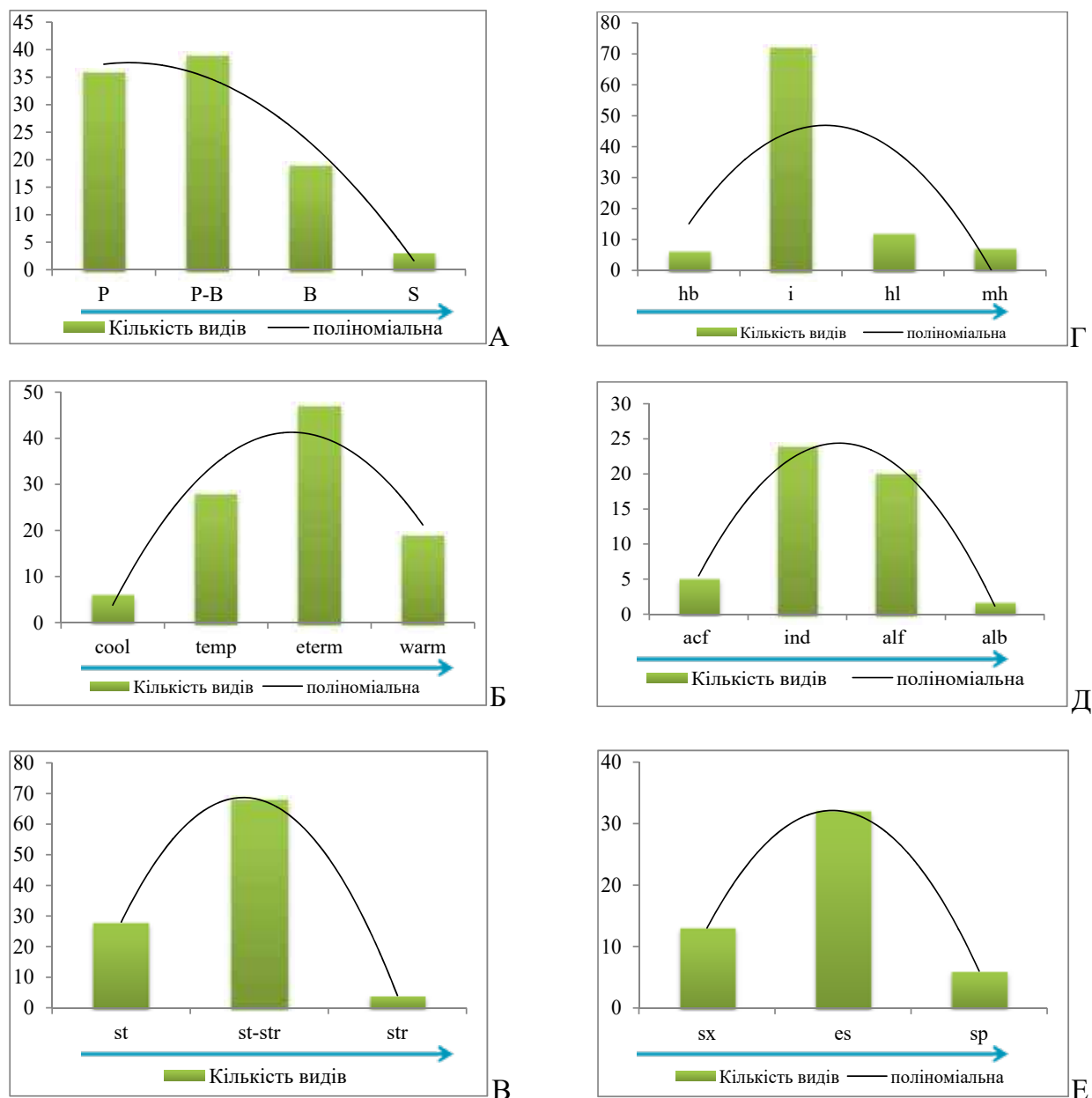


Рис. 1. Співвідношення водоростей-індикаторів екологічних умов у Житомирському водосховищі

Примітка: А – співвідношення індикаторів місця перебування (В – бентосні; Р-В – планктонно-бентосні; Р – планктонні; S – ґрунтові, наземні субстрати); Б – температурних умов (warm – теплолюбні, cool – холодолюбні, temp – помірного діапазону та/або індивідуальні, eterm – евритермні); В – насиченості вод киснем та реофільності (st – стоячі, st-str – повільно текучі та / або індивідуальні, str – швидко текучі); Г – індикаторів галобності (ph – полігалофи, mh – мезогалофи, i – олігогалофи-галофіли, hl – олігогалофи-галофіли, hb – олігогалофи-галофоби); Д – рН середовища (ind – індивідуальні, alf – алкаліфіли: alb – алкалібонтони, acf – ацидофіли); Е – рівня органічного забруднення за Ватанабе (sx – сапроксени, sp – сапрофіли, es – еврисапроби). Стрілка на графіках указує на посилення дії чинника середовища

ренти – 71,4%. Помітною була й частка галофілів (11,8%) та мезогалобів (8,9%), а також галофобів (5,2%). За відношенням до pH (рис. 1Д) переважали індиференти (47,9%), алкаліфіли (39,8%). Частка ацидофілів становила 10,1%, алкалібіонтів (3,2%).

Проведений аналіз рівня органічного забруднення за системою Ватанабе засвідчив домінування еврисапробів (63,8%) та сапротоксенів 24,7%, що свідчить про помірне органічне забруднення Житомирського водосховища на сучасному етапі функціонування його екосистеми (рис. 1Е).

За сапробіологічними показниками водоростей-індикаторів різних типів забруднюючих речовин, що дозволяють характеризувати якість водного середовища й інтегровано оцінити екологічний стан водної екосистеми, встановлено переважання індикаторів II класу якості вод (53,0%). Водночас статистично значимими є й індикатори III класу (37,8%) (рис. 2). Відомо, що до 80-х років минулого століття у Житомирському водосховищі здебільшого переважали індикатори I-II класу якості вод (Васенко і Верніченко, 1981). Наприкінці XX – на початку XXI ст. спостерігалось погіршення якості води, зокрема через посилення органічного забруднення. Так, упродовж 2005–2020 рр. фіксували переважання індикаторів III класу якості вод у Житомирському водосховищі (Shelyuk, 2024). Отримані результати вказують на тенденцію в останні роки щодо зменшення рівня органічного забруднення «Житомирського моря».

Індекс сапробності за біомасою водоростей склав 1,9 (II клас якості вод). Оцінка

інформаційного різноманіття, зроблена за індексом Шеннона (H_B) вказує на переважання полідомінантної структури фітопланктону водосховища. Середнє його значення за вегетаційний сезон становить $2,24 \pm 0,05$ біт/мг, при цьому цей показник упродовж весни склав $2,16 \pm 0,08$, літа – $1,99 \pm 0,08$, осені – $2,41 \pm 0,11$ біт/мг. Трохи вищі значення індексу Шеннона у літній період у порівнянні з даними, наведеними авторкою за результатами досліджень 2004–2018 рр., можна пояснити більшим різноманіттям угруповання водоростей через зниження інтенсивності цвітіння *Cyanobacteria*. Найвірогіднішою причиною таких змін стало очищення русла Тетерева внаслідок спускання води нижнього б'єфу водосховища у 2022 р.

Досліджуваній водоймі властива висока інтенсивність продукційно-деструкційних процесів, причини якої детально описані у попередніх публікаціях (табл. 2).

Встановлено, що на сучасному етапі функціонування екосистема Житомирського водосховища за інтенсивністю фотосинтезу фітопланктону відповідає III класу якості вод ($A=3,85 \pm 0,1$ мг / дм³).

Індекс самоочищення / самозабруднення (A/R) упродовж останніх десяти років коливався в межах 0,62–6,59 із максимумами у 2015 і 2021 роках. Встановлено ефект урівноваження продукційно-деструкційних процесів ($A/R=1,22 \pm 0,08$) у 2023–2024 рр. після проведення робіт з очищення русла річки Тетерів у межах акваторії Житомирського водосховища у 2022 році через видалення надлишку відмерлої автохтонної органічної речовини та політантів у складі донних комплексних сполук. За значеннями продукційно-деструкційного коефіцієнту досліджувана водойма наразі відповідає II класу якості вод.

Зміни продукції і деструкції органічної речовини в сезонному аспекті у Житомирському водосховищі були такими. Навесні з активізацією розвитку фітопланктону відбувалося зростання інтенсивності фотосинтезу, проте весняний максимум фіксували лише в травні. Від початку березня до початку квітня інтенсивність деструкції була вищою за первинну продукцію, весняний максимум деструкції припадав на кінець березня, потім інтенсивність деструкційних процесів послабилася. Подальше зниження інтенсивності деструкційних процесів відбувалося нерівномірно, періодично спостерігалася незначна інтенсифікація

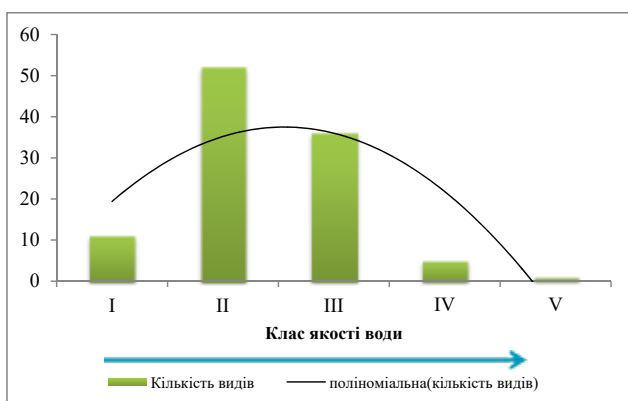


Рис. 2. Співвідношення кількості індикаторів класів якості води

Примітка: стрілка позначає напрям погіршення якості вод

Таблиця 2

Граничні та середні $X \pm m_x$ показники первинної продукції та деструкції органічної речовини, A/R -коефіцієнти Житомирського водосховища (за даними досліджень 2023–2024 рр.)

ΣA	ΣR	A_{max}	R	A/R
$\frac{1,27-8,07}{4,22 \pm 0,12}$	$\frac{1,21-7,64}{3,13 \pm 0,23}$	$\frac{0,96-6,10}{3,85 \pm 0,10}$	$\frac{1,04-5,93}{3,32 \pm 0,06}$	$\frac{0,74-4,93}{1,22 \pm 0,06}$

Примітка: ΣA , ΣR вимірювали в г $O_2/m^2 \cdot \text{добу}$; A_{max} , R – в мг $O_2/dm^3 \cdot \text{добу}$. У чисельнику наведено граничні, у знаменнику – середні значення досліджуваних показників

деструкційних процесів. Упродовж літа та до середини осені переважно відмічали досить високу інтенсивність продукційних процесів після осіннього їх максимуму, який спостерігали у кінці жовтня. Інтенсивність фотосинтезу знижувалася у часі, досягаючи мінімальних значень у середині листопада. Осінній максимум деструкції відмічали на початку листопада.

У часовому розподілі продукційно-деструкційного коефіцієнту на поверхневих горизонтах $A/R < 1$ спостерігали у березні та в кінці листопада за порівняно низької інтенсивності первинної продукції; упродовж вегетаційного сезону із середини квітня до кінця осені переважно $A/R > 1$. Співвідношення інтегральних показників інтенсивності фотосинтезу і дихання $\Sigma A/\Sigma R$ вказує на автотрофну направленість метаболізму (середнє значення $\Sigma A/\Sigma R$ було в межах $1,11 \pm 0,06$).

Обговорення

Наявні у науковій літературі класифікації водосховищ вирішували конкретні завдання, але не завжди давали вичерпну характеристику водосховищам. Класифікація водних екосистем України за категоріями та класами, які об'єктивно відображають їхні фізико-хімічні, морфометричні, режимні, гідробіологічні характеристики, була запропонована фахівцями Інституту гідробіології НАН України (Методи..., 2006).

Проте на сьогодні є необхідність у подальшому уточненні класифікаційної системи водосховищ у зв'язку з посиленням охорони вод. При цьому слід враховувати, що стан водних екосистем визначається як досить сталими параметрами (площа, глибина, рельєф дна, рівневий режим, проточність, льодовий і температурний режими тощо), так і варіативними характеристиками водних мас та гідробіонтів.

Найважливішим нормативним документом, що регламентує оцінку екологічного стану водних об'єктів, є Директива 2000/60 ЄС Європейського парламенту і Ради Європи

(Водна..., 2006) щодо впорядкування діяльності спільноти в галузі водного господарства. Ми спробували запропонувати варіант комплексної класифікації малого водосховища на прикладі Житомирського водосховища:

- 1) за морфологічними ознаками:
 - а) за характером рельєфу – рівнинне;
 - б) за виглядом – озерно-русьове;
 - в) за складом води – прісне;
 - г) за особливостями режиму – зарегульоване;

- за морфометричними ознаками:
 - а) за площею поверхні – мале (до 10 км²);
 - б) за площею затопленої зони – мале (до 10 км²);

- в) за повним об'ємом – мале (до 0,5 км³);
- г) за корисним об'ємом – мале (до 0,05 км³);
- д) за максимальною глибиною – дуже мілке – (до 5 м);

- 2) за гідрологічними ознаками:
 - а) за тривалістю льодоставу – з середньою тривалістю льодоставу (2–6 місяців);

- б) за температурою води (середня величина за літній період, °C) – з помірною температурою води (19–23 °C);

- 3) за ознаками, що характеризують водообмін:

- а) за стратифікацією – стратифіковане;
- б) за вертикальною циркуляцією – з помірною вертикальною стратифікацією (при вертикальному перемішуванні 2 рази в рік);

- в) за характером регулювання – з багаторічним характером регулювання;

- г) за характером водообміну (за відношенням об'єму стоку через гідровузол до повного об'єму водосховища) – із сповільненим водообміном (до 0,1);

- 4) за ознаками, що характеризують господарсько-економічне значення:

- а) за напрямком використання – промислового водопостачання.

За гідробіологічними показниками: у результаті проведеного біоіндикаційного аналізу встановлено, що загалом у товщі води водосховища переважають планктонні

форми, індиверти за відношенням до рН, рівня солоності води та насичення її киснем і реофілії, евритермі за відношенням до температури. Вода водосховища за рівнем органічного забруднення за сапробністю належить до II класу якості вод («досить чисті»), за системою Ватанабе встановлено помірно органічне забруднення. У товщі води переважають види-космополіти за географічним поширенням.

За функціональними показниками фітопланктону (біомаса, інтенсивність фотосинтезу, продукційно-деструкційний коефіцієнт) Житомирське водосховище здебільшого відповідає II–III класу якості вод.

Висновки

Проаналізовано можливості застосування фітопланктону для оцінки якості вод малих водосховищ на прикладі Житомирського водосховища.

Встановлено, що після очищення русла р. Тетерів у Житомирському водосховищі переважають планктонно-бентосні (37,0% від числа індикаторних видів) і планктонні (36,6%) форми водоростей. За температурною приуроченістю перевагу мають евритермі водорості й форми, приурочені до помірного температурного режиму, а також теплолюбні види водоростей (відповідно 47,2, 27,3 і 18,6%). Зростання частки теплолюбних форм за останнє десятиліття, віро-

гідно, є результатом змін клімату. За відношенням водоростей до умов реофілії та насичення вод киснем переважають індиверти (67,3%). Серед індикаторів галобності значну перевагу мають олігогалофи-індиверти – 70,2%, за відношенням до рН – індиверти (46,8%) й алкаліфіли (37,9%). Проведений аналіз рівня органічного забруднення за системою Ватанабе засвідчив домінування еврисапробів (63,4%) та сапроксенів 25,7%. За сапробіологічними показниками водоростей-індикаторів різних типів забруднюючих речовин встановлено пріоритет індикаторів II класу якості вод (53,0%), при цьому статистично значимими є й індикатори III класу (37,8%).

За гідрохімічними, гідрофізичними і гідробіологічними показниками (біомаса, інтенсивність фотосинтезу, продукційно-деструкційний коефіцієнт) Житомирське водосховище здебільшого відповідає II–III класу якості вод.

Встановлено тенденцію до врівноваження продукційно-деструкційних процесів ($A/R=1,22\pm0,08$) у 2023–2024 рр. після проведення робіт з очищення русла річки Тетерів та спускання води з нижнього б'єфу водосховища через видалення надлишку відмерлої автохтонної органічної речовини та поліютантів у складі донних комплексних сполук.

Список використаної літератури

- Афанасьєв С.О., Бабчук В.С., Бонь О.В., Васильєв С.В. та ін. Терміни та визначення водних Директив Європейського Союзу. Київ : Інтерсервіс, 2015. 32 с.
- Васенко О.Г., Верніченко Г.А. Комплексне планування та управління водними ресурсами. Київ : Ін-т географії НАН України, 2001. 367 с.
- Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. Київ : Твій формат, 2006. 240 с.
- Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В.Д. Романенка. Київ : ЛОГОС, 2006. 408 с.
- Мокрицький Г.П. Водопровід Житомира. Житомир : Волинь, 1999. 96 с.
- Проект Стратегії сталого розвитку України до 2030 року від 07.07.2018 р. № 9015 [Електронний ресурс]. URL: [UNDP_Strategy_v06-optimized.pdf](https://undp.org.ua/publications/strategy-ukraine-2030) (дата звернення 29.12.2024)
- Сталий розвиток [Електронний ресурс]. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Сталий_розвиток (дата звернення 14.01.2025).
- Barynova S.S., Medvedeva L.A., Anisymova O.V. Biodiversity of algae-indicators of the environment. Tel Aviv : Piles Studio, 2006. 498 с.
- Cupertino A., Gücker B., Rückert G., Figueredo C. C. Phytoplankton assemblage composition as an environmental indicator in routine lentic monitoring: taxonomic versus functional groups. *Ecological Indicators*. 2019. № 101. P. 522–532. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.054>.
- Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2020 [Електронний ресурс] URL: <http://www.algaebase.org> (дата звернення 30.03.2024).
- Ignatiades L. Taxonomic Diversity, Size-Functional Diversity, and Species Dominance Interrelations in Phytoplankton Communities: a Critical Analysis of Data Interpretation. *Mar. Biodivers*. 2020. № 50 (4). P. 1–9. <https://doi.org/10.1007/s12526-020-01086-4>.

Shelyuk Yu.S., Shcherbak V.I. Phytoplankton Structural and Functional Indices in the Rivers of the Pripyat' and Teterev Basins. *Hydrobiol. Jurnal*. 2018. Vol. 54. № 3. P. 10–23. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v54.i3>.

Shelyuk Yu.S. Regularities of primary production formation in river ecosystems (the basins of the Pripyat' and Teterev Rivers, Ukraine). *Hydrobiol. Jurnal*. 2019. Vol. 55. № 4. P. 38–54. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v55.i4.40>.

Shelyuk Yu.S. Peculiarities of Phytoplankton Formation and Functioning in Small Water Reservoirs. *International Journal on Algae*. 2024. № 26 (3). P. 273–284. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v26.i3.50>.

Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. *Cyanoprocarota, Euglenophyta, Chrysophyta, Xanthophyta, Raphidophyta, Phaeophyta, Dinophyta, Cryptophyta, Glaucocystophyta, and Rhodophyta*. Eds. Ruggell : Ganter Verlag, 2006. Vol. 1. 713 p.

Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. *Bacillariophyta*. Eds. Ruggell : Ganter Verlag, 2009. Vol. 2. 413 p.

Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. *Chlorophyta*. Eds. Ruggell : Ganter Verlag, 2011. Vol. 3. 511 p.

References

Afanas'yev, S.O., Babchuk, V.S., Bon', O.V., & Vasylyev, S.V. (2015). Terminy ta vyznachennya vodnykh Dyrektyv Yevropeys'koho Soyuzu [Terms and definitions of water Directives of the European Union]. Kyiv : Interservice [in Ukrainian].

Vasenko, O.H. & Vernichenko, H.A. (2001). Kompleksne planuvannya ta upravlinnya vodnymy resursamy [Integrated planning and management of water resources]. Kyiv : Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine [in Ukrainian].

Vodna Ramkova Dyrektyva YES 2000/60/YES. (2006). Osnovni terminy ta yikh vyznachennya [EU Water Framework Directive 2000/60/EC. Basic terms and their definitions]. Kyiv : Your format [in Ukrainian].

Metody hidroekologichnykh doslidzhen poverkhnevyykh vod (2006). [Methods of hydroecological research of surface waters] / ed. Romanenko, V.D. Kyiv : LOHOS [in Ukrainian].

Mokrytskyi, G.P. (1999). Vodoprovod Zhytomyra. Zhytomyr : Volyn [Zhytomyr water supply]. Zhytomyr : Volyn [in Ukrainian].

Proekt Stratehiyi staloho rozvytku Ukrayiny do 2030 roku until 2030 dated 07.07.2018 No. 9015 (2018) [Draft Strategy for Sustainable Development of Ukraine until 2030 dated 07.07.2018 No. 9015] [Electronic resource] URL: UNDP_Strategy_v06-optimized.pdf (access date 29.12.2024) [in Ukrainian].

Stalyy rozvytok (2016). [Sustainable development] [Electronic resource]. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/> (access date 14.01.2025) [in Ukrainian].

Barynova, S.S., Medvedeva, L.A., & Anisymova, O.V. (2006). Biodiversity of algae-indicators of the environment. Tel Aviv : Piles Studio [in English].

Cupertino, A., Gücker, B., Rückert, G., & Figueredo, C. (2019). Phytoplankton assemblage composition as an environmental indicator in routine lentic monitoring: taxonomic versus functional groups. *Ecological Indicators*, 101, 522–532. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.054> [in English].

Guiry, M.D., & Guiry, G.M. (2020). AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. [Electronic resource] URL: <http://www.algaebase.org> (access date 30.03.2024) [in English].

Ignatiades, L. (2020). Taxonomic Diversity, Size-Functional Diversity, and Species Dominance Interrelations in Phytoplankton Communities: a Critical Analysis of Data Interpretation. *Mar. Biodivers*, 50 (4), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s12526-020-01086-4> [in English].

Shelyuk, Yu.S., & Shcherbak, V.I. (2018). Phytoplankton Structural and Functional Indices in the Rivers of the Pripyat' and Teterev Basins. *Hydrobiol. Jurnal*, 54 (3), 10–23. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v54.i3> [in English].

Shelyuk, Yu.S. (2019). Regularities of primary production formation in river ecosystems (the basins of the Pripyat' and Teterev Rivers, Ukraine). *Hydrobiol. Jurnal*, 55 (4), 38–54. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v55.i4.40> [in English].

Shelyuk, Yu.S. (2024). Peculiarities of Phytoplankton Formation and Functioning in Small Water Reservoirs. *International Journal on Algae*, 26 (3), 273–284. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v26.i3.50> [in English].

Tsarenko, P.M., Wasser, S.P., & Nevo, E. (2006). Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. *Cyanoprocaryota, Euglenophyta, Chrysophyta, Xanthophyta, Raphidophyta, Phaeophyta, Dinophyta, Cryptophyta, Glaucocystophyta, and Rhodophyta*. Eds. Ruggell : Ganter Verlag, 1 [in English].

Tsarenko, P.M., Wasser, S.P., & Nevo, E. (2009). Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. *Bacillariophyta*. Eds. Ruggell : Ganter Verlag, 2 [in English].

Tsarenko, P.M., Wasser, S.P., & Nevo, E. (2011). Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. *Chlorophyta*. Eds. Ruggell : Ganter Verlag, 3 [in English].

Отримано: 28.01.2025

Прийнято: 10.02.2025



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 11
Український журнал природничих наук
№ 11

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

АГРАРНІ НАУКИ

УДК 635.92(477.4/8)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.11>

АНАЛІЗ ВУЛИЧНОГО КВІТНИКОВОГО ДИЗАЙНУ НАГІРНОЇ ЧАСТИНИ М. ДНІПРО

В. П. Бессонова¹, С. О. Гунько²

Квітники – важливий елемент озеленення міст і селищ. Проте квітковому вуличному озелененню ще приділяється недостатньо уваги, хоча функціональне значення рослин за цих умов зростання досить велике. Тому актуальними є дослідження квітникового озеленення на вулицях міст і видове різноманіття рослин, що при цьому застосовані. Мета цієї роботи – дослідити особливості вуличного квітникового оформлення в Нагірній частині м. Дніпро.

Аналіз квітникового озеленення здійснено на дев'яти вулицях Нагірної частини м. Дніпро, яке є провідним промисловим центром України. Нагірна частина зосереджена на відстані 7–8 км від великих промислових підприємств. Квітники на обстежених вулицях розташовані переважно в безпосередній близькості до автомобільних шляхів. На дев'яти вулицях визначали чисельність квітників, їх тип і площу, яку розраховували, застосовуючи відповідні математичні методи.

Стан квітників оцінювали за трибальною шкалою.

Проведені дослідження показали, що найбільші площі займають квітники на вулицях І. Паторжинського, Т. Шевченка, Севастопольській і Пісаржевського, хоча на останній більша їх частина майже не засаджена квітковими декоративними рослинами. Загальна площа квітників на досліджуваних вулицях коливається від 22,45 м² на вулиці П. Гусенка до 380,38 м² на вул. Т. Шевченка. Найбільш популярними квітниками, що застосовані в оформленні, є міксбордери та клумби (на семи вулицях), контейнери (на шести), смуги (на п'яти). Пристовбурні квітники практично не застосовуються.

З'ясовано, що значна кількість квітників на обстежених вулицях має незадовільний стан. Це обумовлено непродуманістю композицій, сухістю й ущільненням ґрунту, відмиранням ряду рослин, підсиханням нижніх листків, невідповідністю висаджених рослин екологічним умовам зростання.

Деякі види квіткових декоративних рослин зустрічаються дуже рідко – півники гібридні, півонія молочноквіткова, півонія деревовидна, ротики садові, традесканція Андерсона, канна індійська, фізостегія віргінська, анемона корончата, петунія гібридна.

¹ доктор біологічних наук, професор,
професор кафедри садово-паркового мистецтва та ландшафтного дизайну
(Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро)
e-mail: valentinabessonova492@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4310-0971

² кандидат біологічних наук, доцент кафедри
садово-паркового мистецтва та ландшафтного дизайну
(Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро)
e-mail: gooonko@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9551-9803

Рекомендовано для підтримання вуличних квітників у доброму стані приділяти більше уваги агротехнічним заходам, підбору більш стійких рослин до несприятливих умов урбогенного середовища.

Ключові слова: декоративне озеленення, видовий склад, квітковий дизайн, міксбордери, клумби, екологічні умови зростання.

ANALYSIS OF THE STREET FLORAL DESIGN OF NAHIRNA PART OF DNIPRO CITY

V. P. Bessonova¹, S. O. Hunko²

Floral gardens are an important element of landscaping in urban and rural settlements. However, insufficient attention is still paid to floral street gardening, although the functional importance of plants under these growing conditions is quite high. Therefore, it is important to study flower gardening on city streets and the species diversity of plants used in this process. The purpose of this work is to study the peculiarities of street flower gardening in Nahirna part of Dnipro city.

The analysis of flower gardening was carried out on nine streets of Nahirna part of Dnipro, which is the leading industrial centre of Ukraine. Nahirna part is concentrated at a distance of 7–8 km from large industrial enterprises.

The flower gardens on the observed streets are mainly located in the immediate vicinity of motorways.

On nine streets, the number of flower beds, their type and area were determined using appropriate mathematical methods. The condition of the flower gardens was assessed on a three-point scale.

The research showed that the largest areas are occupied by flower gardens on I. Patorzhynskoho, T. Shevchenka, Sevastopolska and Pysarzhevskoho streets, although on the latter most of them are almost not planted with ornamental flowers. The total area of flower gardens on the observed streets ranges from 22,45 m² on P. Husenko street to 380,38 m² on T. Shevchenka street. The most popular flower gardens used in the design are mixborders and flower gardens (on seven streets), containers (on six streets), and strips (on five streets). Trunk flower gardens are practically not used. A significant number of flower gardens on the observed streets are in poor condition. This is due to inconsiderate compositions, dryness and compaction of the soil, the death of a number of plants, drying of the lower leaves, and the planted plants which are inappropriate in accordance with the environmental conditions.

*Some types of ornamental flower plants are very rare, such as *Iris hybrida* Hort., *Paeonia lactiflora* Pall., *Paeonia suffruticosa* Andrews, *Antirrhinum majus* L., *Tradescantia andersoniana* W.Ludw. & Rohweder, *Canna indica* L., *Physostegia virginiana* (L.) Benth., *Anemone caroliniana* Walter, and *Petunia hybrida* Vilm. To maintain street flower gardens in good condition, it is recommended to pay more attention to agrotechnical measures for selecting more resistant plants to adverse conditions of the urban environment.*

Key words: street gardening, industrial city, flower gardens, plant species composition, types and condition of flower gardens.

Вступ

У покращенні естетичного вигляду населених територій, їх санітарно-гігієнічного стану, мікроклімату одним із ключових елементів у створенні зелених насаджень є застосування декоративних квіткових рослин. Квітники – невід’ємний елемент міських ландшафтів, вони прикрашають території шкіл, парків, скверів. Їх усе більше застосовують у вуличному і внутрішньоквартальному озелененні (Rotherham, 2022).

Останнім часом квітники все частіше створюються в міських ландшафтних зелених масивах, житлових і комерційних насадженнях для того, щоб повернути

увагу до корпоративних вивісок, зробити акцент на вході в торговельні корпоративні центри та до місць відпочинку, продемонструвати спеціальні символи або логотип компанії (Iftikar et al., 2022; Mushi, 2024). Не менше значення вони мають для того, щоб спрямувати погляд до пам’яток архітектури та інших визначних місць, прикрасити основні алеї та площі (Frediani, 2024).

Велике значення має вуличне квіткове озеленення, оскільки не тільки покращує санітарно-гігієнічний стан, надає місту естетичної привабливості та кольорового розмаїття, але й спричиняє великий позитивний емоційний вплив на населення (Scott, 2002; Danquah, 2022; Hand et al.,

2022). Проте дослідженням асортименту квітників їх типів та стану й особливо тих, що закладають на вулицях міст, присвячено ще мало робіт (Іщук, 2012; Poje et al., 2013; Бессонова та ін., 2022; Бойко і Ворона, 2023; Дидів та ін., 2023), незважаючи на актуальність таких розробок.

Розгляд публікацій свідчить, що більшість із них присвячені вивченню квітникового озеленення в парках, скверах, ботанічних садах міст України. Вивчено (Горбенко, 2013) асортимент розсадників і каталоги фірм, що займаються виробництвом посадкового матеріалу нових видів однорічних рослин для озеленення м. Львова. Автором аналізувалося різноманіття однорічників приватних колекцій, фірм і невеликих підприємств. Вказується, що в насадженнях міста та на ринку продукції найбільша кількість нових таксонів з'явилась у 2011 р. – 23, а у 2012 р. – усього 6. За спостереженнями дослідників, уведення нових видів, а також сортів квітникових рослин було не досить вдалим. Це пояснюється відсутністю інформації про деякі нові таксони, неналежним доглядом за рослинами, невідповідністю екологічних умов вимогам рослин. Автор акцентує увагу на необхідності більш ретельного вивчення нових видів однорічників (стійкість, фенологія, відповідність умов зростання тощо), що впроваджуються в культуру.

Проаналізовано (Черняк та ін., 2016) асортимент квіткових насаджень та їх стан у м. Вінниця. Встановлено представленість родин на квітниках міста та їх кількісне співвідношення за виробничими ознаками.

Дослідження квітникового озеленення в м. Біла Церква показали деяку перевагу використання багаторічних (50%) квіткових рослин порівняно з однорічними (40%), тоді як багаторічні та дворічні монокарпи зустрічаються в озелененні рідко (Струтинська і Роговський, 2019). У більш ранній роботі з вивчення квіткових насаджень у цьому ж місті (Іщук, 2012) також вказується на те, що в них переважають багаторічні квіткові рослини (75%), як-от хоста, подорожникова та вузьколиста, айстра новоанглійська й кущоподібна, півонія лікарська та ін.

За даними інших дослідників (Чипиляк та ін., 2014), квіткові декоративні рослини, що культивуються у скверах і парках м. Кривий Ріг, віднесені до 33 родин, що належать до різних груп цвітіння за сезонами (весняні, весняно-літні, літні, пізньолітньо-осінні).

Автори визначили види квіткових рослин, що здебільшого використовуються в озелененні міста.

З'ясовано (Бессонова та ін., 2022), що серед типів квітників у парках і скверах правобережної частини м. Дніпро найчастіше зустрічаються рабатки, а найбільшу площу займають клумби, відзначається їх різноманіття за формою, кольоровими схемами, типом композицій та станом. Крім того, здійснено екоморфний аналіз асортименту квіткових декоративних рослин, які використані в озелененні парків м. Дніпро. Автори встановили, що з 64 таксонів квіткових декоративних рослин 90,6 % віднесені до геліофітів (58 таксонів). З них 19 – потребують добре зволжених ґрунтів. Група ксерофітів містить 26,5%, а мезофітів 31,3%, тобто у квітниках досліджених парків і скверів переважають мезофіти (Бессонова і Яковлєва-Носарь, 2022).

Аналізуючи асортимент однорічних декоративних рослин, що розташовані в центральній частині м. Львова, автор (Горбенко, 2013) доходить висновку, що структуроване за вибраними ознаками квітникове озеленення, на думку дослідника, може послугувати базою для робіт із ландшафтного благоустрою.

Деякі дослідники вказують на недостатність застосування пересувних контейнерів і підвісних вазонів в озелененні міст (Музичук, 2002; Левон і Кузнецов, 2006). Із цієї позиції заслуговує на увагу робота (Бессонова та ін., 2011), у якій представлено аналіз типів контейнерів, що використані в озелененні, встановлено видовий склад рослин, що в них зростають, звернено увагу на такі важливі показники цих рослин, як жаростійкість і водоутримувальна здатність, від яких залежить їх стійкість за таких особливостей контейнерного вирощування, особливо за несприятливих гідротермічних умов, що складаються в літні місяці в урбогенному середовищі степової зони України.

У роботі авторів (Дидів та ін., 2023) представлені результати аналізу використання в озелененні в Західному Лісостепу України однорічних квіткових рослин. Визначено їх видовий склад і розраховано частку мезофітів, ксерофітів, авторами встановлено використання 58 видів з 53 родів.

Мета – проаналізувати особливості вуличного квітникового дизайну в Нагірній частині м. Дніпро.

Для досягнення мети виділено завдання:

- встановити типи квітників і площі квітникового озеленення на вулицях Нагірної частини м. Дніпро, що підлягали обстеженню;
- визначити стан квітників і декоративних квітникових рослин на вулицях Нагірної частини;
- проаналізувати асортимент рослин квітників Нагірної частини м. Дніпро.

Матеріал і методи

Дослідження квітників здійснювали на вулицях Нагірної частини м. Дніпро: П. Гусенка (500 м), В. Моссаковського (895 м), Феодосіївській (400 м), О. Гончара (860 м), Л. Пісаржевського (490 м), Л. Лук'яненка (900 м), І. Паторжинського (990 м), Севастопольській (1170 м), Т. Шевченка (1300 м).

Місто Дніпро – великий індустріальний центр. Значна концентрація промислових підприємств призводить до забруднення повітря їх токсичними викидами (до 110 тис. т щорічно). Це негативно впливає не тільки на здоров'я населення, але й на фізіологічні процеси у рослин (Feyisa et al., 2022; Pati et al., 2023).

Нагірна частина – ядро і початковий центр заснування міста. Цей район розташований на значному віддаленні (7–8 км) від великих підприємств, його альтитуда становить 130 м. Унаслідок цього атмосферне повітря порівняно з іншими районами міста забруднено менше.

Досліджувані квітники вуличного озеленення розташовані переважно поруч з автошляхами, унаслідок чого на рослини безпосередньо здійснюють вплив вихлопні гази автомашин (Mady et al., 2022; Dugasseh & Andersen, 2024). Крім того, їх ґрунти переущільнені (Maitra & Jyethi, 2020) та забруднюються сполуками важких металів – свинцю, нікелю, кадмію, міді, цинку, які містяться у викидах автотранспорту (Gunko et al., 2018). Деякі квітники висаджені поблизу будинків на відстані 3–4 м від проїжджої частини вулиці, але це мало зменшує токсичну дію забруднювальних речовин.

Аналіз типів квітників, видовий склад їх насаджень (Пушкар, 2007) здійснювали маршрутним методом. Вимірювали розміри квітників та обчислювали їх площі із використанням відповідних геометричних формул. Визначення видів квітникових рослин здійснювали, користуючись довідниками (Антонюк, 1972; Бессонова, 2010; Brickell, 2019). Стан квітників оцінювали за три-

бальною шкалою, яку викладено в роботі авторів (Бессонова та ін., 2022).

Результати та їх обговорення

На вул. О. Гончара нами обстежено 12 квітників (табл. 1). Це 3 прямокутні клумби, 2 міксбордери, 3 смуги, 3 пристовбурні й 1 припіднята клумба усічено-овальної форми. На вулиці встановлено 46 контейнерів.

Загальна чисельність квітникових трав'янистих рослин, що використана в озелененні цієї вулиці, становить близько 587 екземплярів, які належать до 24 видів із 12 родин. Найбільш розповсюджені – петунія гібридна, лілійник гібридний і чорнобривці розлогі. На квітниках використані також бересклет форчуна, троянди садові, кампсис укорінливий тощо.

Більшість квітників отримали оцінку «задовільно», що становить 7 од., або 58,3%, 2 міксбордери та припіднята клумба – «добре», а 2 квітники – «незадовільно». У їх створенні відсутня системність, ґрунт місцями дуже сухий і ущільнений, зафіксовано відпад деяких рослин і забур'яненість. Насадження більшості контейнерів перебувають переважно в доброму та задовільному стані. На них відсутні бур'яни та відпад, проте інколи спостерігається низька щільність садіння.

За площею переважають міксбордери (рис. 1а) – 15,02 м² та 17,4 м² відповідно. Значні розміри має також одна з клумб прямокутної форми – 16,0 м². Площа всіх обстежених квітників становить близько 94,82 м².

Припіднята клумба сформована з 10 кущів чайно-гібридних троянд рожевих, червоних і кремових кольорів (рис. 2), між якими зростають юка нитчаста, а навесні квітнуть анемона корончаста, фізостегія віргінська. Як згадувалося вище, загальний стан рослин добрий, але в другій половині літа деякі кущі троянд уражені іржею.

На вул. Феодосіївській м. Дніпро визначено 7 типів квітників, площа яких становить 54,73 м². Це – міксбортер, рабатка, різної форми клумби (орнаментальна, прямокутні, трикутна), бордюри (рис. 1б).

Контейнерне озеленення використовується мало – усього 3 контейнери, у яких зростає лілійник гібридний. Усього у квітниках і контейнерах виявлено близько 539 шт. квіткових декоративних рослин, які представлені 22 видами з 12 родин (табл. 2).

Виявлена найбільша кількість таких рослин, як бегонія вічноквітуча (52,5%), лілій-

Таблиця 1

Видовий склад і кількісні показники квітників на вул. О. Гончара м. Дніпро

Тип квітника	Площа квітника, м ²	Назва виду рослин	Кількість, шт.	Категорія стану квітника
Міксбордер	17,4	<i>Impatiens hawkeri</i> W.Bull	36	1
		<i>Tagetes patula</i> L.	16	
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers	14	
		<i>Chrysanthemum</i> × <i>koreanum</i> hort.	2	
		<i>Hemerocallis hybridus</i> hort	22	
		<i>Aster novi-belgii</i> L.	6	
		<i>Tagetes erecta</i> L.	4	
		<i>Sedum spectabile</i> Boreau	8	
		<i>Salvia splendens</i> Sellow ex Schult.	2	
		<i>Coreopsis tinctoria</i> Nutt	5	
		<i>Calendula officinalis</i> L.	5	
		<i>Hosta lancifolia</i> Engl.	2	
		<i>Leucanthemum maximum</i> DC.	11	
		<i>Althaea rosea</i> L.	1	
Пристовбурний	1,7	<i>Althaea rosea</i> L.	3	2
		<i>Canna indica</i> L.	4	
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	1	
Пристовбурний	2,0	<i>Tagetes patula</i> L.	10	2
Пристовбурний	2,0	<i>Tagetes patula</i> L.	20	2
		<i>Petunia</i> × <i>hybrida</i> Vilm.	4	
Смуга	3,5	<i>Petunia</i> × <i>hybrida</i> Vilm.	50	2
Смуга	3,5	<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	17	2
Смуга	2,8	<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers	7	3
		<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	3	
		<i>Physostegia virginiana</i> (L.) Benth.	3	
Клумба припіднята усічено-овальна	10,6	<i>Garden Rose</i>	10	1
		<i>Physostegia virginiana</i> (L.) Benth.	11	
		<i>Yucca filamentosa</i> L.	1	
		<i>Anemone caroliniana</i> Walter	3	
Міксбордер	15,02	<i>Zinnia elegans</i> Jacq.	5	1
		<i>Iris hybrida</i> hort.	8	
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	2	
		<i>Chrysanthemum</i> × <i>koreanum</i> hort	3	
		<i>Garden Rose</i>	1	
		<i>Rudbeckia hybrida</i> hort.	11	
		<i>Sedum spectabile</i> Boreau.	1	
		<i>Phlox paniculata</i> L.	8	
		<i>Leucanthemum maximum</i> DC.	6	
		<i>Physalis alkekengi</i> L. var. 'Franchetii'	2	
Клумба прямокутна	0,7	<i>Iris hybrida</i> hort.	14	3
		<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	3	
Клумба прямокутна	16,0	<i>Hosta lancifolia</i> Engl.	11	2
		<i>Tagetes erecta</i> L.	10	
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	3	
Клумба прямокутна	0,5	<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	4	2

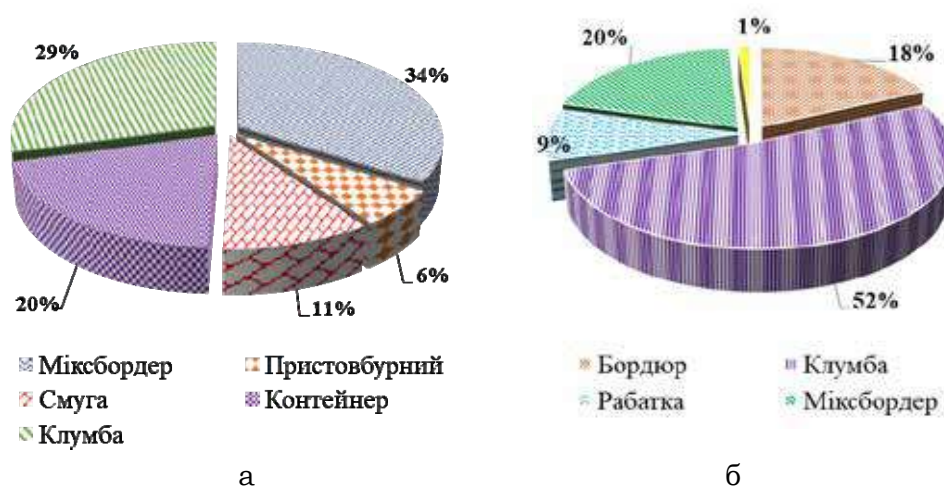


Рис. 1. Співвідношення різних типів квітників на вул. О. Гончара (а) та вул. Феодосіївській (б), %



Рис. 2. Пристовбурний і припіднятий квітники на вул. О. Гончара

Видовий склад і кількісні показники квітників на вул. Феодосіївській м. Дніпро

Таблиця 2

Тип квітника	Площа квітника, м ²	Назва виду рослин	Кількість, шт.	Категорія стану квітника
1	2	3	4	5
Бордюр	10,0	<i>Iris hybrida hort.</i>	26	1
		<i>Hemerocallis hybridus hort.</i>	26	
Клумба трикутна	10,59	<i>Callistephus chinensis (L.) Nees</i>	2	1
		<i>Cosmos bipinnatus Cav.</i>	12	
		<i>Petunia × hybrida Vilm.</i>	8	
		<i>Perilla frutescens (L.) Britton</i>	5	
		<i>Pelargonium zonale Wild.</i>	4	
		<i>Chrysanthemum × koreanum hort.</i>	4	
		<i>Vinca major L.</i>	7	
		<i>Solidago canadensis L.</i>	3	
		<i>Sedum spectabile Boreau.</i>	1	
		<i>Phlox paniculata L.</i>	3	
		<i>Gaillardia aristata Pursh.</i>	6	
		<i>Rudbeckia hybrida hort.</i>	3	
		<i>Psephellus dealbatus (Willd.) K. Koch</i>	7	

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5
Клумба прямокутна	6,63	<i>Rudbeckia hirta</i> L.	2	2
		<i>Allium ramosum</i> L.	7	
		<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	19	
		<i>Yucca filamentosa</i> L.	1	
		<i>Gladiolus hybrida</i> hort.	2	
		<i>Sedum spectabile</i> Boreau.	1	
		<i>Berberis thunbergii</i> DC	1	
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	2	
		<i>Solidago canadensis</i> L.	1	
Рабатка	5,0	<i>Aster novi-belgii</i> L.	6	2
		<i>Sedum spectabile</i> Boreau.	7	
		<i>Callistephus chinensis</i> (L.) Nees	5	
		<i>Rudbeckia hybrida</i> hort.	8	
		<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	22	
Клумба прямокутна	4,2	<i>Sedum spectabile</i> Boreau.	1	3
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	3	
		<i>Chrysanthemum</i> × <i>koreanum</i> hort.	1	
Міксбордер	10,81	<i>Cosmos bipinnatus</i> Cav.	12	2
		<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	25	
		<i>Psephellus dealbatus</i> (Willd.) K. Koch	10	
Клумба (орнаментальна, складається з 3-х трикутників)	7,5	<i>Begonia semperflorens</i> hort	283	1

ник гібридний (17,1%), півники гібридні (4,8%). Стан рослин на вул. Феодосіївській оцінили як добрий, проте значна кількість квітників отримали оцінку «задовільно» (42,86%). У них визначена незначна кількість рослин із відмерлими листками й пагонами та наявність бур'янів, сухість ґрунту, а також його переущільнення. Лише одна клумба отримала оцінку «незадовільно».

Частина рослин на ній мало декоративна. Потрібно оновити її асортимент, частину ґрунту та створити новий бордюр.

Найдекоративніша орнаментальна клумба з бегонії вічноквітучої, на якій чергуються шість трикутників, три з яких засаджені рослинами цього виду з білими й рожевими квітками, а інші – з газонними травами (рис. 3). У центрі поруч із декора-

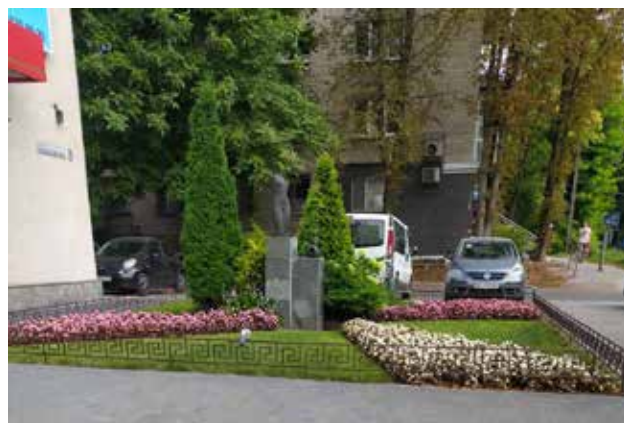


Рис. 3. Квітники на вул. Феодосіївській

тивною скульптурою зростає група з ялівців і туй. Життєвий стан рослин на цій клумбі найкращий. Оригінальний вигляд має трикутна клумба з великим декоративним каменем.

На вул. Севастопольській чисельність квітників вдвічі більша, ніж на

вул. Феодосіївській. Серед них переважають рабатки (5 шт.), прямокутні та квадратні клумби (6 шт.). У найменшій кількості виявлені квіткові групи (1 шт.) та смуги (2 шт.) (табл. 3).

Оцінки стану квітників на вулиці Севастопольській різняться. У п'яти об'єк-

Таблиця 3

Видовий склад і кількісні показники квітників на вул. Севастопольській м. Дніпро

Тип квітника	Площа квітника, м ²	Назва виду рослин	Кількість, шт.	Категорія стану квітника
1	2	4	5	6
Рабатка	8,0	<i>Gaillardia aristata</i> Pursh.	4	1
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	3	
		<i>Anemone vitifolia</i> Buch.-Ham. ex DC.	2	
		<i>Althaea rosea</i> L.	7	
		<i>Sedum spectabile</i> Boreau.	1	
		<i>Vinca major</i> L.	7	
Група	1,0	<i>Rudbeckia hybrida</i> hort.	20	2
Смуга	5,0	<i>Tradescantia</i> × <i>andersoniana</i> W.Ludw. & Rohweder	5	3
		<i>Pelargonium zonale</i> Wild.	3	
		<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	4	
Рабатка	9,21	<i>Tagetes patula</i> L.	15	2
		<i>Iris hybrida</i> hort.	10	
		<i>Coreopsis verticillata</i> L.	1	
		<i>Zinnia elegans</i> Jacq.	7	
		<i>Digitalis purpurea</i> L.	2	
		<i>Saponaria officinalis</i> L.	3	
Смуга	4,0	<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	3	3
		<i>Tagetes patula</i> L.	12	
Клумба прямокутна	26,32	<i>Hosta lancifolia</i> Engl.	15	3
		<i>Sedum spectabile</i> Boreau.	∞	
Рабатка	20,21	<i>Hosta lancifolia</i> Engl.	6	1
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	4	
		<i>Iris hybrida</i> hort.	8	
		<i>Sedum spectabile</i> Boreau.	1	
		<i>Chrysanthemum</i> × <i>koreanum</i> hort.	2	
		<i>Tagetes patula</i> L.	29	
Клумба прямокутна	37,11	<i>Pelargonium zonale</i> Wild.	5	3
		<i>Aster novi-belgii</i> L.	18	
		<i>Yucca filamentosa</i> L.	6	
Клумба квадратна	3,53	<i>Iris hybrida</i> hort.	78	3
		<i>Sedum spectabile</i> Boreau.	2	
Клумба квадратна	3,53	<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	7	3
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	33	
Рабатка	25,0	<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	33	3

Продовження таблиці 3

1	2	4	5	6
Клумба квадратна	3,53	<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	10	3
		<i>Sedum spectabile</i> Boreau	3	
Клумба квадратна	3,53	<i>Hosta lancifolia</i> Engl.	8	1
Рабатка	16,56	<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	24	1
		<i>Rudbeckia hybrida</i> hort.	12	
Клумба прямокутна	5,3	<i>Yucca filamentosa</i> L.	1	1
		<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	16	
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	2	
		<i>Allium ramosum</i> L.	2	

тів (35,71%) він добрий, у двох (14,29%) – задовільний, у половини – незадовільний. Забур'яненість, в'янення деяких рослин у полуденні години та значне ущільнення ґрунту сприяють ослабленню рослин. Для покращення вигляду квітника бордюру навколо рабатки потрібно частково замінити, а використані для декору шини та каміння погіршують загальний її вигляд, їх краще видалити. Слід, однак, вказати, що оскільки на переважній більшості квітників цієї вулиці здійснюється прополювання, то їх забур'яненість низька.

Контейнерне озеленення з квітниковими рослинами представлене всього двома контейнерами, у яких зростає очиток видний. Загальна чисельність трав'янистих квітникових рослин на цій вулиці становить 409 шт. Вони належать до 22 видів із 13 родин. Найчастіше зустрічаються півники гібридні (23,5%), хости подорожникова та ланцетолиста (22,2%), чорнобривці розлогі (13,7%). Як і на вул. Феодосіївській,

у квітниках висаджені також і гарноквітучі чагарникові рослини: спірея середня, троянда садова, бузок звичайний і ліана кампсис укорінливий. Загальна площа квітників на цій вулиці становить 168,30 м², найбільшу займають клумби й рабатки (рис. 4а). На вул. В. Моссаковського створено 18 квітників. Їх загальна площа – 70,27 м² (рис. 4б).

Зустрічальність різних типів квітників наведено в табл. 4. По краю тротуару встановлено 47 контейнерів: по 3 – із чорнобривцями відхиленими та півниками гібридними, 2 – із бальзамом новогвінейським, 5 – із хостою подорожниковою, 6 – із петунією гібридною та 28 шт. із лілійником гібридним. Контейнери, що використані для озеленення вулиці, мають різну форму – прямокутну, чашоподібну, трикутну, найчастіше квадратну. Усього у квітниках вулиці зростає близько 542 одиниці декоративних трав'янистих рослин, що належать до 21 виду з 11 родин.

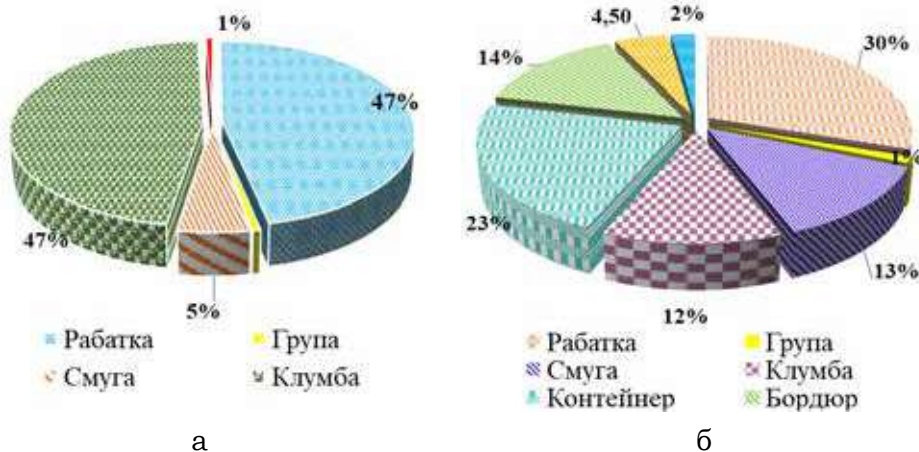


Рис. 4. Співвідношення квітників на вул. Севастопольській (а) та вул. В. Моссаковського (б), %

Таблиця 4

Видовий склад і кількісні показники квітників на вул. В. Моссаковського м. Дніпро

Тип квітника	Площа квітника, м ²	Назва виду рослин	Кількість, шт.	Категорія стану квітника
Рабатка	7,24	<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	3	3
		<i>Iris hybrida</i> hort.	50	
Клумба прямокутна	2,0	<i>Sedum spectabile</i> Boreau.	2	3
		<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	5	
		<i>Hibiscus moscheutos</i> L.	1	
Бордюр	2,5	<i>Impatiens hawkeri</i> W.Bull	28	1
Бордюр	2,32	<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	15	2
Рабатка	13,86	<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	45	3
Бордюр	3,29	<i>Iris hybrida</i> hort.	25	3
Бордюр	2,35	<i>Iris hybrida</i> hort.	25	3
Рабатка	2,21	<i>Iris hybrida</i> hort.	25	3
Клумба прямокутна	4,0	<i>Zinnia elegans</i> Jacq.	5	1
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	4	
		<i>Tagetes patula</i> L.	3	
		<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	2	
		<i>Datura stramonium</i> L.	1	
Рабатка	4,0	<i>Iris hybrida</i> hort.	10	2
		<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	15	
Бордюр	2,3	<i>Althaea rosea</i> L.	1	2
		<i>Iris hybrida</i> hort.	15	
Смуга	2,65	<i>Iris hybrida</i> hort.	9	3
		<i>Psephellus dealbatus</i> (Willd.) K. Koch	1	
Смуга	5,0	<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	19	2
Поодинокі	2,0	<i>Iris hybrida</i> hort.	13	3
Смуга	4,0	<i>Hosta lancifolia</i> Engl.	9	2
		Garden Rose	1	
Міксбордер	4,5	<i>Tagetes patula</i> L.	16	1
		<i>Stachys byzantina</i> K.Koch & Scheele	10	
		<i>Convallaria majalis</i> L.	10	
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	4	
		<i>Psephellus dealbatus</i> (Willd.) K. Koch	2	
		<i>Chrysanthemum</i> × <i>koreanum</i> hort.	5	
		<i>Yucca filamentosa</i> L.	2	
		<i>Heliopsis helianthoides</i> var. <i>scabra</i> Dun	5	
Клумба квадратна	5,06	<i>Mirabilis jalapa</i> L.	1	1
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	2	
		<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	4	
		<i>Iris hybrida</i> hort.	5	
Група	0,99	<i>Hibiscus moscheutos</i> L.	2	1

Ця вулиця оздоблена дуже яскравими квітниками (рис. 5а, б) – жовтий соняшничок садовий, бальзамін рожевих відтінків, помаранчево-червоні чорнобривці тощо. Основу озеленення становлять півник гібридний (34,2%) та лілійник гібридний (25,7). Частина об'єктів має задовільний стан (27,78%) або добрий (27,78%), а оцінка інших (44,44%) незадовільна. Відсутня цілісна композиція, характерні забур'яненість сухість і значна ущільненість ґрунту, між рослинами існують значні прогалини.

На вулиці Л. Паторжинського квітникове озеленення представлене сімома квітниками, що мають загальну площу 104,96 м². Серед них: 3 рабатки, 2 бордюри, 1 клумба квадратної форми та 1 міксбордер (рис. 6а).

Як вуличне озеленення використано 13 контейнерів: із чорнобривцями розлогими (6 од.), очитком видним (4 од.), лілійником гібридним (2 од.) і гайлардією

гібридною (1 од.). Загалом у квітникових насадженнях вулиці І. Паторжинського визначено близько 420 од. квітникових трав'янистих рослин (табл. 5).

Усього на квітниках вул. І. Паторжинського виявлено 17 видів трав'янистих рослин із 6 родин. Найбільшу частку становлять лілійник гібридний (16,9%), геліопсис соняшниковидний (14,0%) та хости (15,0%).

Відповідно до стану квітників на вул. І. Паторжинського три з них отримали оцінку «добре», один – «задовільно», три – «незадовільно». На цих квітниках відсутній композиційний задум, рослини зростають хаотично, відсутній полив, висока забур'яненість, виявлено відпад рослин.

Кількість квітників найбільша на вул. Шевченка, їх площа становить понад 379,08 м². Серед типів квіткового оформлення найбільшими за площею є масиви, міксбордери, мінірозарії, смуга (рис. 6б).



а



б

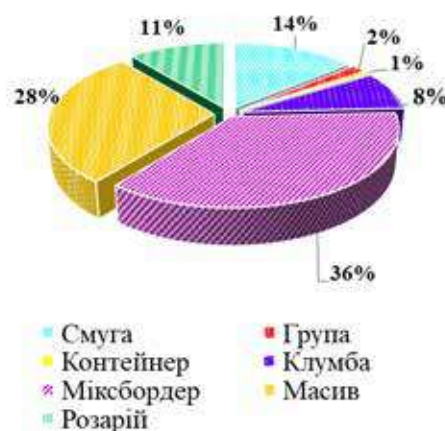


в

Рис. 5. Квітники на вул. В. Моссаковського (а, б) та вул. І. Паторжинського (в)



а



б

Рис. 6. Співвідношення квітників на вул. І. Паторжинського (а) та вул. Шевченка (б), %

Таблиця 5

Видовий склад і кількісні показники квітників на вул. І. Паторжинського м. Дніпро

Тип квітника	Площа квітника, м ²	Назва виду рослин	Кількість, шт.	Категорія стану квітника
Бордюр	5,74	<i>Rudbeckia hybrida</i> hort.	30	3
Рабатка	4,6	<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	9	1
		<i>Psephellus dealbatus</i> (Willd.) K.Koch	3	
		<i>Paeonia lactiflora</i> Pall.	1	
		<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	13	
Бордюр	3,0	<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	5	1
Міксбордер	26,32	<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	35	1
		<i>Psephellus dealbatus</i> (Willd.) K.Koch	18	
		<i>Iris hybrida</i> hort.	9	
		<i>Sedum spectabile</i> Boreau.	2	
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	4	
		<i>Hosta lancifolia</i> Engl.	1	
		<i>Heliopsis helianthoides</i> var. <i>scabra</i> Dun	4	
		<i>Chrysanthemum</i> × <i>koreanum</i> hort.	1	
		<i>Aster novi-belgii</i> L.	2	
		<i>Allium ramosum</i> L.	18	
		<i>Calendula officinalis</i> L.	20	
		<i>Aster dumosum</i> (L.) G.L.Nesom	4	
Рабатка	23,19	<i>Heliopsis helianthoides</i> var. <i>scabra</i> Dun	4	2
		<i>Paeonia lactiflora</i> Pall.	7	
		<i>Hosta lancifolia</i> Engl.	13	
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	2	
		<i>Gaillardia x hybrida</i> hort.	8	
		<i>Sedum spectabile</i> Boreau.	3	
		<i>Iris hybrida</i> hort.	20	
		<i>Tagetes patula</i> L.	45	
Рабатка	39,48	<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	50	3
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	25	
		<i>Heliopsis helianthoides</i> var. <i>scabra</i> Dun	48	
Клумба квадратна	2,63	<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	8	3
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	5	
		<i>Heliopsis helianthoides</i> var. <i>scabra</i> Dun	3	

Зустрічаються групи, квадратні та прямокутні клумби (табл. 6), а також 9 контейнерів: із півниками гібридними (2 од.), пеларгонією зональною (2 од.), хостою ланцетолістою (2 од.), рудбекією блискучою

(1 од.), петунією гібридною (1 од.), очитком видним (1 од.).

У квітниках на вул. Шевченка зростає близько 790 екземплярів трав'янистих декоративних рослин. Вони належать до

Таблиця 6

Видовий склад і кількісні показники квітників на вул. Шевченка м. Дніпро

Тип квітника	Площа квітника, м ²	Назва виду рослин	Кількість, шт.	Категорія стану квітника
1	2	3	4	5
Смуга	1,55	<i>Chrysanthemum × koreanum</i> hort.	5	3
		<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	14	
Група	1,5	<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	1	3
		<i>Ageratum houstonianum</i> Mill.	5	
Група	0,69	<i>Heliopsis helianthoides</i> var. <i>scabra</i> Dun	2	3
		<i>Hosta lancifolia</i> Engl.	2	
Група	2,1	<i>Iris hybrida</i> hort.	9	3
		<i>Oenothera biennis</i> L.	5	
Клумба квадратна	12,37	<i>Iris hybrida</i> hort.	10	3
		<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	14	
Клумба квадратна	2,25	<i>Tagetes patula</i> L.	3	3
		<i>Zinnia elegans</i> Jacq.	7	
Смуга	3,0	<i>Paeonia lactiflora</i> Pall.	6	2
Клумба прямокутна	7,0	<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	29	1
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	4	
		<i>Sedum spectabile</i> Boreau.	5	
		<i>Paeonia lactiflora</i> Pall.	1	
Група	2,0	<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	8	3
		<i>Iris hybrida</i> hort.	1	
Клумба квадратна	1,5	<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	6	3
Міксбордер	58,75	<i>Iris hybrida</i> hort.	84	1
		<i>Rudbeckia hybrida</i> hort.	7	
		<i>Althaea rosea</i> L.	12	
		<i>Calendula officinalis</i> L.	31	
		<i>Yucca filamentosa</i> L.	2	
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	2	
		<i>Psephellus dealbatus</i> (Willd.) K.Koch	20	
Клумба прямокутна	3,78	<i>Iris hybrida</i> hort.	10	2
		<i>Psephellus dealbatus</i> (Willd.) K.Koch	5	
Клумба прямокутна	3,29	<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	15	3
		<i>Solidago canadensis</i> L.	1	
Міксбордер	63,62	<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	29	2
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	19	
		<i>Paeonia lactiflora</i> Pall.	3	
		<i>Chrysanthemum × koreanum</i> hort.	19	
		<i>Psephellus dealbatus</i> (Willd.) K.Koch	26	
		<i>Iris hybrida</i> hort.	10	
		<i>Sedum spectabile</i> Boreau.	2	
		<i>Hosta lancifolia</i> Engl.	1	
		<i>Paeonia × suffruticosa</i> Andrews	1	
Смуга	48,6	<i>Symphoricarpos albus</i> Blake	3	2
		<i>Psephellus dealbatus</i> (Willd.) K.Koch	6	
		<i>Gaillardia x hybrida</i> hort.	3	
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	18	
		<i>Heliopsis helianthoides</i> var. <i>scabra</i> Dun	40	

Продовження таблиці 6

1	2	3	4	5
Масив	62,64	<i>Heliopsis helianthoides</i> var. <i>scabra</i> Dun	110	2
Розарій	41,75	Garden Rose	85	1
Масив	45,12	<i>Sedum spectabile</i> Boreau.	19	2
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	8	
		<i>Hosta lancifolia</i> Engl.	8	
		<i>Psephellus dealbatus</i> (Willd.) K.Koch	2	
		<i>Antirrhinum majus</i> L.	4	
Міксбордер	16,57	<i>Paeonia lactiflora</i> Pall.	3	2
		<i>Hosta sieboldiana</i> (Hook.) Engl.	2	
		<i>Hosta lancifolia</i> Engl.	1	
		Garden Rose	1	
		<i>Tradescantia</i> × <i>andersoniana</i> W.Ludw. & Rohweder	9	
		<i>Hemerocallis hybridus</i> hort.	19	
		<i>Iris hybrida</i> hort.	9	
		<i>Yucca filamentosa</i> L.	7	

25 видів з 11 родин. У міксбордерах використані також чагарникові рослини: півонія деревовидна, троянда садова, ялівець горизонтальний, сніжноягідник білий тощо. Прикрашенням вулиці є розарій, у якому зростає 85 кущів переважно чайно-гібридних садових троянд різних кольорів. В озелененні вулиці переважають геліопсис соняшниковидний, троянда садова, півники гібридні та лілійник гібридний.

Аналіз стану квітників показав, що 9 з них (47,37%) перебувають у незадовільному стані внаслідок значного забур'янення,

ущільненості та сухості ґрунту, наявності великих прогалів і порослевих нащадків. Їх непривабливий вигляд обумовлений також тим, що рослини часто зростають невпорядковано. Крім того, у квітниках висаджено мало високодекоративних вищих рослин. Стан мінірозарію, прямокутної клумби та міксбордера оцінено як добрий, решту 7 од. (або 36,84%) квітників – як задовільний (рис. 7а).

Вулицю Л. Лук'яненка прикрашає міксбордер, на якому зростають трав'янисті декоративні квіткові рослини, що представ-



а



б

Рис. 7. Квітникове озеленення на вул. Т. Шевченка (а), вул. Лук'яненка (б)

лені чотирма видами з трьох родин: 52 кущі троянд садових та 1 кущ форзиції європейської, а також 13 рослин бирючини звичайної, які окантовують квітник з боку пішохідної смуги (табл. 7).

Загальна площа квітника – близько 66,5 м². Його обмежує високий бордюр із каміння. На міксбордері розташовані 2 величні декоративні чорні камені (рис. 7б). Стан квітника оцінено як добрий.

На вул. Л. Писаржевського виявлено лише 4 квітники, проте вони досить великі, їх сумарна площа становить 118,65 м² (табл. 8). Це міксбордер (39,76 м²) і 2 квіткові масиви, що мають розміри 35,34 м² та 41,3 м² і група площею 2,25 м². На цих квітниках зростає близько 250 екземплярів декоративних трав'янистих рос-

лин, які належать до 13 видів із 10 родин. Пріоритетними є лілійник гібридний (22,0%), хоста подорожникова (19,6%) та півники гібридні (12,0). Тільки міксбордеру надано задовільну оцінку, стан інших квітників у цілому незадовільний. Слід відмітити бідне різноманіття рослин, серед них мало гарноквітучих видів, великі ділянки пусті, а на більшій частині їх площі зростає самосів.

На вул. П. Гусенка квітники представлені прямокутною та квадратною клумбами. На них висаджено загалом усього близько 82 декоративних квіткових рослин (табл. 9). На цій вулиці асортимент квіткових рослин репрезентований лише сімома видами, які належать до шести родин. Найчисельніші рослини – це півники гібридні.

Таблиця 7
Видовий склад і кількісні показники квітників на вул. Л. Лук'яненка м. Дніпро

Тип квітника	Площа квітника, м ²	Назва виду рослин	Кількість, шт.	Категорія стану квітника
Міксбордер	66,5	<i>Iris hybrida hort.</i>	27	1
		<i>Psephellus dealbatus</i> (Willd.) K. Koch	5	
		<i>Chrysanthemum × koreanum hort.</i>	22	
		<i>Hemerocallis hybridus hort.</i>	7	
		Garden Rose	52	
		<i>Ligustrum vulgare</i>	13	

Таблиця 8
Видовий склад і кількісні показники квітників на вул. Л. Писаржевського м. Дніпро

Тип квітника	Площа квітника, м ²	Назва виду рослин	Кількість, шт.	Категорія стану квітника
Масив	35,34	<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	8	3
		<i>Hemerocallis hybridus hort.</i>	22	
		<i>Iris hybrida hort.</i>	30	
		<i>Phalaris arundinacea</i> L.	11	
Масив	41,3	<i>Hemerocallis hybridus hort.</i>	35	3
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	27	
		<i>Physalis alkekengi</i> L. var. 'Franchetii'	10	
Міксбордер	39,76	<i>Psephellus dealbatus</i> (Willd.) K.Koch	5	2
		<i>Rudbeckia hybrida hort.</i>	7	
		<i>Sedum spectabile</i> Boreau.	5	
		<i>Hemerocallis hybridus hort.</i>	20	
		<i>Canna indica</i> L.	6	
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	14	
		<i>Stachys byzantina</i> K.Koch & Scheele	28	
		<i>Althaea rosea</i> L.	2	
		<i>Chrysanthemum × koreanum hort.</i>	6	
		<i>Vinca major</i> L.	7	
Група	2,25	<i>Rudbeckia hybrida hort.</i>	7	3

Таблиця 9

Видовий склад і кількісні показники квітників на вул. П. Гусенка м. Дніпро

Тип квітника	Площа квітника, м ²	Назва виду рослин	Кількість, шт.	Категорія стану квітника
Клумба квадратна	2,25	<i>Mirabilis jalapa</i> L.	2	3
		<i>Yucca filamentosa</i> L.	1	
		<i>Lobularia maritima</i> (L.) Desr.	15	
Клумба прямокутна	12,0	<i>Chrysanthemum</i> × <i>koreanum</i> hort.	15	1
		<i>Chrysanthemum</i> × <i>multiflora</i> hort.	4	
		<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Aschers.	3	
Смуга	8,2	<i>Iris hybrida</i> hort.	∞	2

Відмічена різниця стану квітників: він добрий у прямокутній клумбі, у смуги – задовільний, квадратну клумбу оцінено незадовільно (рис. 8).

Узагальнені дані стосовно типів квітників і їх площі на досліджуваних вулицях представлені в табл. 10.

Найменші площі квітникового озеленення виявлені на вулицях Л. Лук'яненка, П. Гусенка, Феодосіївській, найбільші – на вул. І. Паторжинського, Т. Шевченка, а також Севастопольській (рис. 9). На вул. Л. Писаржевського вони також досить великі, однак практично не засаджені, мають значні пусті ділянки, а зростаючі на них декоративні рослини – переважно самосів.

Згідно з отриманими даними, міксбордери займають найбільшу сумарну площу

на всіх дослідних вулицях – 319,28 м². Загальна площа клумб, масивів і рабток не надто відрізняється – 194,17 м², 184,40 м² та 178,56 м² відповідно. Найменші площі відведені пристовбурним квітникам (5,7 м²) і групам (10,53 м²). Територія, що займають усі квітники на обстежених вулицях, становить близько 1109,36 м². Найчастіше зустрічаються такі типи квітників, як міксбордери (на 7 вулицях), клумби (на 7), контейнери (на 6) та смуги (на 5). На вул. Севастопольській виявлено найбільшу площу рабток і клумб, а на вул. Т. Шевченка – груп, смуг і міксбордерів. Пристовбурні квітники створені тільки на одній вулиці – О. Гончара.

На рисунку 10 графічно представлені показники стану квітників на обстежених вулицях. Аналіз свідчить, що значна частка



Рис. 8. Рабатка та смуга на вул. П. Гусенка

Таблиця 10

Загальна площа різних типів квітників на вулицях Нагірної частини м. Дніпро, м²

Типи квітників	Вулиці*									Разом
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Клумба	28,92	79,32	30,19	2,63	11,06	27,80	–	14,25	–	194,17
Рабатка	5,00	78,98	–	67,27	27,31	–	–	–	–	178,56
Смуга	–	9,00	53,15	–	11,65	9,80	–	8,20	–	91,80
Контейнер	0,60	1,00	2,30	6,50	20,20	19,10	–	–	–	49,70
Бордюр	10,00	–	–	8,74	12,76	–	–	–	–	31,50
Група	–	1,00	6,29	–	0,99	–	2,25	–	–	10,53
Міксбордер	10,81	–	138,94	26,32	4,50	32,42	39,76	–	66,50	319,25
Пристовбурний	–	–	–	–	–	5,70	–	–	–	5,70
Поодинокі	–	–	–	–	2,00	–	–	–	–	2,00
Розарій	–	–	41,75	–	–	–	–	–	–	41,75
Масив	–	–	107,76	–	–	–	76,64	–	–	184,40
Загалом	55,33	169,30	380,38	111,46	90,47	94,82	118,65	22,45	66,50	1109,36

*Примітка: 1 – Феодосіївська, 2 – Севастопольська, 3 – Т. Шевченка, 4 – І. Паторжинського, 5 – В. Моссаковського, 6 – О. Гончара, 7 – Л. Писаржевського, 8 – П. Гусенка, 9 – Л. Лук'яненка.

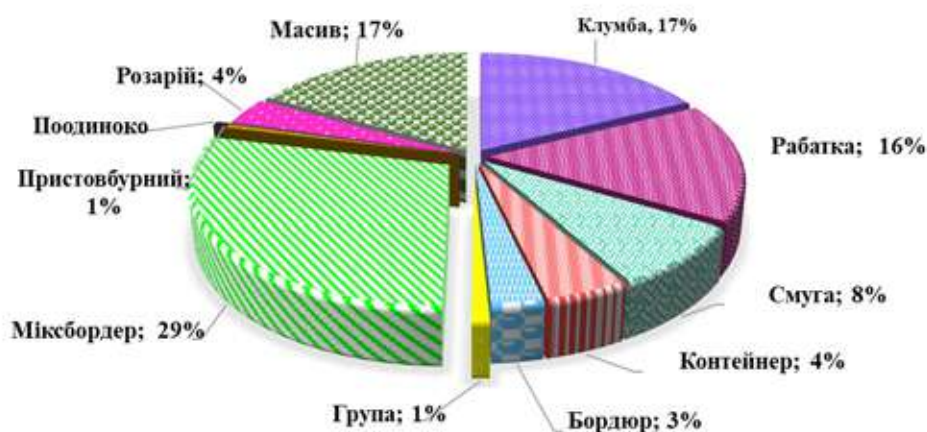


Рис. 9. Співвідношення різних типів квітників Нагірної частини м. Дніпро від загальної кількості, %

квітників має незадовільний стан, а отже, потребує оновлення.

Узагальнення результатів стосовно використання видів рослин у квітковому дизайні свідчить, що деякі види квіткових декоративних рослин зустрічаються дуже рідко – це півники гібридні, півонія молочноквіткова, півонія деревовидна, ротики садові, традесканція Андерсона, канна індійська, фізостегія віргінська, анемона корончаста, петунія гібридна. Значну частку становлять невибагливі до умов зростання рослини.

Отримані результати дадуть змогу оцінити якість озеленення досліджуваних вулиць Нагірної частини м. Дніпро, а також слугуватимуть основою для розробки рекомендацій з його покращення.

Висновки

1. Сумарна площа квіткового озеленення на досліджуваних вулицях Нагірної частини м. Дніпро становить понад 1109,36 м². Найчастіше у вуличному озелененні зустрічаються такі типи квітників, як міксбордери та клумби – на семи вулицях із дев'яти, контейнери – на шести, а смуги – на п'яти.

2. Найменша сумарна величина площі квітників визначена на вулицях Л. Лук'яненка (66,50 м²), Феодосіївській (55,33 м²), П. Гусенка (22,45 м²), а найбільша – на вул. Т. Шевченка (380,38 м²).

3. За загальною площею серед усіх квітників, що підлягали аналізу, міксбордери займають 319,25 м². Клумби, масиви та рабатки мають близькі за значеннями показ-

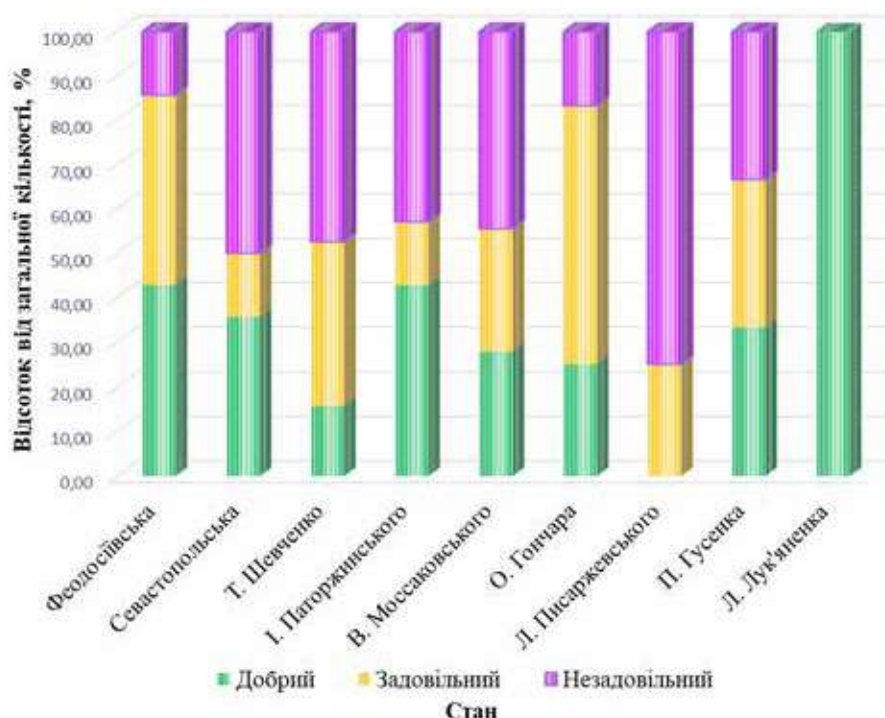


Рис. 10. Порівняльний аналіз стану квітників на вулицях
Нагірної частини м. Дніпро, %

ники сумарної площі – 194,17 м², 184,40 м², 178,56 м² відповідно.

4. На обстежених ділянках стан квітників значно відрізняється. Він оцінений як задовільний, незадовільний або добрий. Погіршення декоративності, а отже, зниження оцінки ряду об'єктів пояснюється часто значним забур'яненням, великими проміжками між рослинами, сухістю й ущільненням ґрунту, непродуманою композицією, невідповідністю висаджених рослин екологічним умовам зростання.

5. Найбільший відсоток квітників, що мали добрий стан, виявили на вулицях Феодосійській та І. Паторжинського. На вулиці Л. Писаржевського квітники з оцінкою «добре» відсутні, а їх частка в неза-

довільному стані більша, ніж на інших вулицях.

6. Найчастіше у вуличних квітниках зростають невибагливі до умов зростання рослини: на осонні – лілійник гібридний, геліопсис соняшникоподібний, а у затіненні – хоста подорожникова та ланцетолиста.

7. Для підтримання вуличних квітників у доброму стані потрібно приділяти більше уваги не тільки агротехнічним заходам і добору стійких рослин, але й дотримуватися екологічних і художньо-декоративних принципів. Під час планування вуличного квіткового дизайну важливо керуватися рекомендаціями складання композицій, гармонійного розташування їх елементів і вибору кольорової гами.

Список використаної літератури

- Антонюк Н.Є. Інтродукція рослин рівнинної частини України. Київ : Наук. думка, 1972. 145 с.
- Бессонова В.П. Рослини квітників : довідник. Дніпропетровськ : Вид-во «Свідлер А.А.», 2010. 176 с.
- Бессонова В.П., Іванченко О.Є., Сисоєва О.В. Оцінка стійкості та декоративності квіткових рослин у контейнерній культурі промислового міста. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія Лісівництво та декоративне садівництво*. 2011. Вип. 164. Ч. 3. С. 280–285.
- Бессонова В.П., Яковлєва-Носарь С.О., Іванченко О.Є. Аналіз квітникового озеленення у парках і скверах Правобережжя міста Дніпра. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2022. Т. 32. № 1. С. 51–61. <https://doi.org/10.36930/40320108>.
- Бессонова В.П., Яковлєва-Носарь С.О. Екоморфний аналіз квітникового озеленення у парках та скверах правобережжя м. Дніпро. *Proceedings of I International Scientific and Practical*

Conference “Modern research in world science” (April 17–19, 2022) SPC “Sci-conf.com.ua”, Lviv, Ukraine. 2022. С. 93–96. [Електронний ресурс]. URL: <http://dspace.dsau.dp.ua/jspui/handle/123456789/7009> (дата звернення 10.11.2024).

Бойко Т.О., Ворона А.М. Аналіз стану квітничкового оформлення міста Кропивницький та шляхи поліпшення: *Вісник Уманського національного університету садівництва*. Садово-паркове господарство. 2023. № 2. С. 71–76. <https://doi.org/10.32782/2310-0478-2023-2-71-76>.

Горбенко Н.Є. Однорічні декоративні рослини у квітковому оформленні Львова. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 23.9. С. 172–176.

Дидів О., Дидів І., Лещук Н. Вивчення видового складу однорічних квітково-декоративних рослин в умовах західного лісостепу України. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія «Агрономія»*. 2023. № 27. С. 114–120. <https://doi.org/10.31734/agronomy2023.27.114>.

Іщук А.П. Аналіз стану квітничкових насаджень м. Біла Церква та шляхи його поліпшення. *Агробіологія*. 2012. № 8. С. 78–82.

Левон Ф.М., Кузнецов С.І. Концептуальні аспекти формування міських зелених насаджень у сучасних умовах. *Інтродукція рослин*. 2006. № 4. С. 53–57.

Музичук Г.М. Концепція вдосконалення квітничкового оформлення населених міст України та практичні рекомендації щодо поліпшення вуличних ландшафтів. *Роль ботанічних садів у зеленому будівництві міст, курортних та рекреаційних зон* : матеріали міжнар. конф., присвяченої 135-річчю Ботанічного саду ОНУ ім. І.І. Мечнікова. Одеса, 2002. С. 46–51.

Пушкар В.В. Дизайн квітників : навч. посібн. [для студ. ВНЗ]. Київ : Вид-во «Альтерпрес», 2007. 336 с.

Струтинська Ю.В., Роговський С.В. Таксономічна структура культурних квіткових рослин внутріквартальних просторів міста Біла Церква. *Новітні технології в агрономії, землеустрої та садово-парковому господарстві* : матеріали доповідей державної науково-практичної конференції студентів. Біла Церква, 2019. С. 56–58.

Черняк В.М., Прокопчук В.М., Монарх В.В. Аналіз асортименту і стану квітничково-декоративних насаджень м. Вінниця та шляхи його поліпшення. *Сільське господарство та лісівництво*. 2016. № 3. С. 185–192.

Чипиляк Т.Ф., Мазура М.Ю., Береславська О.О., Лещенюк О.М. Квітничково-декоративне оформлення парків та скверів міста Кривий Ріг. Рекомендації щодо його поліпшення. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014. Вип. 24.4. С. 164–169.

Brickell C. RHS Encyclopedia of Plants & Flowers. London : Dorling Kindersley. 2019. 744 p.

Danquah J.A. Perceptions of landlords to trees in built-up urban areas in Ghana. *Arboricultural Journal*. 2022. Vol. 45. № 3. P. 238–253. <https://doi.org/10.1080/03071375.2022.2129195>.

Dugasseh F.A., Andersen M.S. Non-carbon benefits of REDD+ implementation and sustainable emission reductions – a review. *Forests, Trees and Livelihoods*. 2024. Vol. 33. № 4. P. 299–318. <https://doi.org/10.1080/14728028.2024.2383737>.

Feyisa A., Negash M., Melka Y. Urban green infrastructure affects woody plant diversity and carbon stock in Hawassa city in Ethiopia. *Arboricultural Journal*. 2022. Vol. 44. № 2. P. 84–98. <https://doi.org/10.1080/03071375.2021.2014696>.

Frediani K. Advancing arboriculture through human and tree ecology. *Arboricultural Journal*. 2024. Vol. 46. № 2. P. 132–144. <https://doi.org/10.1080/03071375.2024.2341546>.

Gunko S.O., Tsvetkova N.M., Neposhivaylenko N.O. The interpolation of cadmium in soils of an urbanized territory of the steppe Dnieper region using geoinformation modeling methods. *Biosystems Diversity*. 2018. Vol. 26. № 2. P. 145–152. <https://doi.org/10.15421/011823>.

Hand K.L., Rix H., Stokes J., Doick K.J. The creation, content and use of urban tree strategies by English local governments. *Arboricultural Journal*. 2022. Vol. 44. № 4. P. 183–207. <https://doi.org/10.1080/03071375.2022.2072623>.

Iftikar T., Hussain S., Malik M.I., Hyder S., Kaleem M., Saqib, A. Green human resource management and pro-environmental behaviour nexus with the lens of AMO theory. *Cogent Business & Management*. 2022. Vol. 9. № 1. <https://doi.org/10.1080/23311975.2022.2124603>.

Mady K., Abdul Halim M.A.S., Omar K., Abdelkareem R.S., Battour M. Institutional pressure and eco-innovation: The mediating role of green absorptive capacity and strategically environmental orientation among manufacturing SMEs in Egypt. *Cogent Business & Management*. 2022. Vol. 9. № 1. <https://doi.org/10.1080/23311975.2022.2064259>.

Maitra S., Jyethi D.S. Particulate matter removal by forest cover in Delhi. *Arboricultural Journal*. 2020. Vol. 42. № 1. P. 36–49. <https://doi.org/10.1080/03071375.2020.1746541>.

Mushi H.M. Moderating role of green innovation between sustainability strategies and firm performance in Tanzania. *Cogent Business & Management*. 2024. Vol. 12. № 1. <https://doi.org/10.1080/23311975.2024.2440624>.

Pati P.K., Kaushik P., Maurya D., Adhikari C., Bishwas A.J., Khan M.L., Khare P.K. Evaluating the role of roadside vegetation in atmospheric carbon dioxide mitigation: a case study. *Arboricultural Journal*. 2023. Vol. 46. № 2. P. 97–119. <https://doi.org/10.1080/03071375.2023.2233868>.

Poje M., Vukelić A., Han Dovedan I. Perception of Flower Beds in Public Green Areas. *Agriculturae Conspectus Scientifici*. 2013. Vol. 78. № 2. P. 125–129.

Rotherham I.D. The tree experts – a history of professional arboriculture in Britain: by Mark Johnston, Oxford, UK, Windgather Press, Oxbow Books, 2021, Hardback, ISBN 978 1 91118 888 9. *Arboricultural Journal*. 2022. Vol. 44. № 2. P. 122–123. <https://doi.org/10.1080/03071375.2022.2083841>.

Scott A. Assessing public perception of landscape: the LANDMAP experience. *Landscape Research*. 2002. Vol. 27. P. 271–295. <https://doi.org/10.1080/01426390220149520>.

References

Antonjuk, N.Je. (1972). Introdukcija roslyn rivnynnoji chastyny Ukrainy [Introduction of plants of the plain part of Ukraine]. Kyjv: Nauk. dumka [in Ukrainian].

Barbarych, A.I., Bradis, Ye.M., Visyulin, O.D., & Kotov, M.I., et al. (1965). Vyznachnyk roslyn Ukrayiny [Identifier of plants of Ukraine]. (2nd ed.). Kyiv: Urozhay [in Ukrainian].

Bessonova, V.P. (2010). Roslyny kvitnykiv: dovidnyk [Flower Garden Plants. Directory]. Dnipropetrovsk: Vyd-vo “Svidler A.L.”, 175 p. [in Ukrainian].

Bessonova, V.P., Ivanchenko, O.E., & Sysojeva O.V. (2011). Ocinka stijkosti ta dekoratyvnosti kvitkovykh roslyn u kontejnernij kul'turi promyslovogho mista. [Assessment of the durability and decorativeness of flowering plants in container culture of an urban area]. *Naukovyj visnyk Nacional'nogho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannja Ukrainy. Serija Lisivnyctvo ta dekoratyvne sadivnyctvo* [Scientific newsletter of the National University of Biological Resources and Natural History of Ukraine. Series Forestry and decorative gardening], 164, 3, 280–285 [in Ukrainian].

Bessonova, V.P., Yakovlieva-Nosar, S.O., & Ivanchenko, O.E. (2022). Analiz kvitnykovogho ozelenennja u parkakh i skverakh Pravoberezhzhja mista Dnipra. [Analysis of flower landscaping in parks and squares of the Right Bank of the Dnipro city]. *Naukovyj visnyk NLTU Ukrainy* [Scientific Bulletin of UNFU], 32, 1, 51–61. <https://doi.org/10.36930/40320108> [in Ukrainian].

Bessonova, V.P., & Yakovlieva-Nosar, S.O. (2022). Ekomorfnyj analiz kvitnykovogho ozelenennja u parkakh ta skverakh pravoberezhzhja m. Dnipro. [Ecomorphic analysis of floristic landscaping in parks and squares of the right bank of the Dnipro]. Proceedings of I International Scientific and Practical Conference “Modern research in world science” (April 17–19, 2022) SPC “Sci-conf.com.ua”, Lviv, pp. 93–96 [Electronic resource]. URL: <http://dspace.dsau.dp.ua/jspui/handle/123456789/7009> (access date 10.12.2024) [in Ukrainian].

Boiko, T.O., & Vorona A.M. (2023). Analiz stanu kvitnykovogho oformlennja mista Kropyvnyckyj ta shljakhy polipshennja [Analysis of the state of flower arrangement in the city of Kropyvnytsky and ways of improvemen]. *Visnyk Umans'kogho nacional'nogho universytetu sadivnyctva: Sadovo-parkove ghospodarstvo* [Bulletin of Uman National University of Horticulture: landscape gardening], 2, 71–76. <https://doi.org/10.32782/2310-0478-2023-2-71-76> [in Ukrainian].

Horbenko, N.Ye. (2013). Odnorichni dekoratyvni roslyny u kvitkovomu oformlenni Ljvova. [Annual ornamental plants in the flower decoration of Lviv]. *Naukovyj visnyk NLTU Ukrainy* [Scientific Bulletin of UNFU], 23.9, 172–176 [in Ukrainian].

Dydiv, O., Dydiv, I., & Leshhuk N. (2023). Vyvchennja vydovogho skladu odnorichnykh kvitkovo-dekoratyvnykh roslyn v umovakh zakhidnogho lisostepu Ukrainy [Study of the species composition of annual flowering and ornamental plants in conditions of the Western Forest Steppe of Ukraine]. *Visnyk Ljvivskogho nacional'nogho universytetu pryrodokorystuvannja. Serija “Aghronomija”* [Bulletin of Lviv National Environmental University. Series Agronomy], 27, 114–120. <https://doi.org/10.31734/agronomy2023.27.114> [in Ukrainian].

Ishhuk, L.P. (2012) Analiz stanu kvitnykovykh nasadzhenj m. Bila Cerkva ta shljakhy jogho polipshennja [Analysis of the plantings of Bila Tserkva and the paths of its expansion]. *Aghrobiologhija* [Agrobiology], 8, 78–82 [in Ukrainian].

- Levon, F.M., & Kuznecov, S.I. (2006). Konceptualjni aspekty formuvannja misjkykh zelenykh nasadzhenj u suchasnykh umovakh [Conceptual aspects of formation of city green plantations in modern conditions]. *Introdukciya roslyn [Plant Introduction]*, 4, 53–57 [in Ukrainian].
- Muzychuk, Gh.M. (2002). Koncepcija vdoskonalennja kvitnykovogho oformlennja naselenykh mist Ukrajinj ta praktychni rekomendaciji shhodo polipshennja vulychnykh landshaftiv [The concept of a thorough landscape design of populated areas in Ukraine and practical recommendations for improving street landscapes]. *Rolj botanichnykh sadiv u zelenomu budiivnyctvi mist, kurortnykh ta rekreacijnykh zon: materialy mizhnar. konf., prysujachenoji 135-richchju Botanichnogho sadu ONU im. I.I. Mechnikova [The role of botanical gardens in green everyday places, resort and recreational areas: materials of international scientific research. Conf., dedicated to the 135th anniversary of the Botanical Garden of ONU named after. I.I. Mechnikov]*. Odesa, pp. 46–51 [in Ukrainian].
- Pushkar, V.V. (2007). *Dyzain kvitnykiv: navch. posibn. [Flower garden design: a textbook]*, p. 336 [in Ukrainian].
- Strutynsjka, Ju.V., & Roghovsjkyj, S.V. (2019). Taksonomichna struktura kuljturnykh kvitkovykh roslyn vnutrikvartalnykh prostoriv mista Bila Cerkva. [Taxonomic structure of cultivated flower plants in the inner quarter spaces of the Bila Tserkva town]. *Novitni tekhnologhiji v aghronomiji, zemleustroji ta sadovo-parkovomu ghospodarstvi: materialy dopovidej derzhavnoji naukovopraktychnoji konferenciji studentiv. Bila Cerkva [New technologies in agronomy, land management and gardening: materials of the scientific and practical conference of students]*. Bila Tserkva, pp. 56–58 [in Ukrainian].
- Chernjak, V.M., Prokopchuk, V.M., Monarkh, V.V. (2016). Analiz asortymentu i stanu kvitnykovo-dekoratyvnykh nasadzhenj m. Vinnycja ta shljakhy jogho polipshennja [Analysis of assortment and condition of flower decorative plantations in Vinnitsa and the ways of their improvement]. *Siljsjke ghospodarstvo ta lisivnyctvo [Agriculture and forestry]*, 3, 185–192 [in Ukrainian].
- Chypyljak, T.F., Mazura, M.Ju., Bereslavsjska, O.O., & Leshhenjuk O.M. (2014). Kvitnykovo-dekoratyvne oformlennja parkiv ta skveriv mista Kryvyj Righ. Rekomendaciji shhodo jogho polipshennja [Flower Design of Parks and Squares in Krivoy Rog: Status, Problems and Recommendations for Improvement]. *Naukovyj visnyk NLTU Ukrajinj [Scientific bulletin of UNFU]*, 24.4, 164–169 [in Ukrainian].
- Brickell, C. (2019). *RHS Encyclopedia of Plants & Flowers*. London: Dorling Kindersley [in English].
- Danquah, J.A. (2022). Perceptions of landlords to trees in built-up urban areas in Ghana. *Arboricultural Journal*, 45 (3), 238–253. <https://doi.org/10.1080/03071375.2022.2129195> [in English].
- Dugasseh, F.A., & Andersen, M.S. (2024). Non-carbon benefits of REDD+ implementation and sustainable emission reductions – a review. *Forests, Trees and Livelihoods*, 3 (4), 299–318. <https://doi.org/10.1080/14728028.2024.2383737> [in English].
- Feyisa, A., Negash, M., & Melka, Y. (2022). Urban green infrastructure affects woody plant diversity and carbon stock in Hawassa city in Ethiopia. *Arboricultural Journal*, 44 (2), 84–98. <https://doi.org/10.1080/03071375.2021.2014696> [in English].
- Frediani, K. (2024). Advancing arboriculture through human and tree ecology. *Arboricultural Journal*, 46 (2), 132–144. <https://doi.org/10.1080/03071375.2024.2341546> [in English].
- Gunko, S.O., Tsvetkova, N.M., & Neposhivaylenko, N.O. (2018). The interpolation of cadmium in soils of an urbanized territory of the steppe Dnieper region using geoinformation modeling methods. *Biosystems Diversity*, 26 (2), 145–152. <https://doi.org/10.15421/011823> [in English].
- Hand, K.L., Rix, H., Stokes, J., & Doick, K.J. (2022). The creation, content and use of urban tree strategies by English local governments. *Arboricultural Journal*, 44 (4), 183–207. <https://doi.org/10.1080/03071375.2022.2072623> [in English].
- Iftikar, T., Hussain, S., Malik, M.I., Hyder, S., Kaleem, M., & Saqib, A. (2022). Green human resource management and pro-environmental behaviour nexus with the lens of AMO theory. *Cogent Business & Management*, 9 (1). <https://doi.org/10.1080/23311975.2022.2124603> [in English].
- Mady, K., Abdul Halim, M.A.S., Omar, K., Abdelkareem, R.S., & Battour, M. (2022). Institutional pressure and eco-innovation: The mediating role of green absorptive capacity and strategically environmental orientation among manufacturing SMEs in Egypt. *Cogent Business & Management*, 9 (1). <https://doi.org/10.1080/23311975.2022.2064259> [in English].
- Maitra, S., & Jyethi, D.S. (2020). Particulate matter removal by forest cover in Delhi. *Arboricultural Journal*, 42 (1), 36–49. <https://doi.org/10.1080/03071375.2020.1746541> [in English].

Mushi, H.M. (2024). Moderating role of green innovation between sustainability strategies and firm performance in Tanzania. *Cogent Business & Management*, 12 (1). <https://doi.org/10.1080/23311975.2024.2440624> [in English].

Pati, P.K., Kaushik, P., Maurya, D., Adhikari, C., Bishwas, A.J., Khan, M.L., & Khare, P.K. (2023). Evaluating the role of roadside vegetation in atmospheric carbon dioxide mitigation: a case study. *Arboricultural Journal*, 46 (2), 97–119. <https://doi.org/10.1080/03071375.2023.2233868> [in English].

Poje, M., Vukelić, A., & Han Dovedan, I. (2013). Perception of Flower Beds in Public Green Areas. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 78 (2), 125–129 [in English].

Rotherham, I.D. (2022). The tree experts – a history of professional arboriculture in Britain: by Mark Johnston, Oxford, UK, Windgather Press, Oxbow Books, 2021, Hardback, ISBN 978 1 91118 888 9. *Arboricultural Journal*, 44 (2), 122–123. <https://doi.org/10.1080/03071375.2022.2083841> [in English].

Scott, A. (2002). Assessing public perception of landscape: the LANDMAP experience. *Landscape Research* 27, 271–295 <https://doi.org/10.1080/01426390220149520> [in English].

Отримано: 27.01.2025

Прийнято: 12.02.2025



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 11
Український журнал природничих наук
№ 11

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

УДК 633.34:631.5:631.67

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.12>

ВПЛИВ РІЗНИХ СХЕМ ЗАХИСТУ РОСЛИН НА БІОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА УРАЖЕНІСТЬ ХВОРОБАМИ СОРТІВ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ РІЗНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ В ПІВДЕННОМУ СТЕПУ

Я. М. Гадзало¹, Р. А. Вожегова², Я. О. Лікар³

У статті наведено результати вивчення впливу систем захисту рослин на біометричні та фотосинтетичні показники рослин, елементи продуктивності сортів пшениці м'якої озимої різного екологічного походження за застосування засобів захисту рослин. Найвища висота рослин пшениці сорту Овідій – 115 см – відмічена на ділянках із використанням інтегрованого захисту рослин. Встановлено, що застосування захисту рослин істотно підвищує стійкість рослин до негативного впливу грибних хвороб. У контрольних варіантах (без захисту) ураженість сорту Зіра *Septoria tritici* Rob. Et Desm, становила 38,8%, а ураженість *Blumeria graminis* F. sp. *tritici* (Bgt) – 33,4%. З використанням захисту рослин у сорту Зіра ураженість *Septoria tritici* Rob. Et Desm знизилась у 3,2–3,5 разів, а ураженість *Blumeria graminis* F. sp. *tritici* (Bgt) – в 1,6–3,3 разів.

У варіанті із сортом Овідій ураженість на контрольному варіанті *Septoria tritici* Rob. Et Desm, становила 34,4%, а ураженість *Blumeria graminis* F. sp. *tritici* (Bgt) – 32,6%. З використанням захисту ураженість *Septoria tritici* Rob. Et Desm зменшилась у 1,6–2,2 разів, а ураженість *Blumeria graminis* F. sp. *tritici* (Bgt) – в 1,6–3,4 разів.

Фотосинтетичний потенціал досяг найбільших показників у вирощуванні сорту Овідій за інтегрованого захисту – 1810 тис. м² * діб. За вирощування сорту Зіра максимальний фотосинтетичний потенціал спостерігався також при застосуванні інтегрованого захисту – 1769 тис. м² * діб. Застосування інтегрованого захисту рослин сприяло збільшенню фотосинтетичного потенціалу сорту Зіра на 22,9%, а сорту Овідій – на 17,9%.

¹ доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН,
Президент Національної академії аграрних наук України
(Національна академія аграрних наук України, м. Київ)
e-mail: izz.biblio@ukr.net
ORCID: 0000-0002-5028-2048

² доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН,
директор Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН
(Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, м. Київ)
e-mail: izz.biblio@ukr.net
ORCID: 0000-0002-3895-5633

³ кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри ентомології інтегрованого захисту та карантину рослин
(Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ)
e-mail: izz.biblio@ukr.net
ORCID: 0000-0003-1241-8634

Біологічний засіб захисту рослин підвищував урожайність зерна на 6,1% у сорту Зіра і у сорту Овідій – на 4,2%. Біологічний засіб захисту був менш ефективним порівняно з хімічним та інтегрованим, проте його можна використовувати за біологічного землеробства.

Застосування інтегрованого захисту сортів пшениці різного екологічного походження забезпечує зростання урожайності зерна на 17,9–22,9%. Захист рослин під час вирощування сорту Зіра сприяло збільшенню врожайності на 22,9%. У сорту Овідій також проявилось підвищення врожайності на 4,2–17,9% в усіх варіантах застосування захисту рослин, що обумовлено збереженням листостеблової маси від уражень шкідливими організмами та підсиленням на цьому фоні продукційних процесів.

Для умов Південного Степу краще використовувати сорти пшениці озимої, створені для жорстких кліматичних умов цієї зони, а саме Овідій.

Ключові слова: сорт, пшениця м'яка озима, захист рослин, ураженість грибними хворобами, висота рослин, площа асиміляційної поверхні урожайність.

INFLUENCE OF VARIOUS PLANT PROTECTION SCHEMES ON PRODUCTIVITY ELEMENTS OF WINTER WHEAT VARIETIES OF DIFFERENT ECOLOGICAL ORIGIN IN THE SOUTHERN STEPPE

Ya. M. Hadzalo, R. A. Vozhehova, Ya. O. Likar

The article presents the results of studying the influence of plant protection systems on biometric and photosynthetic indicators of plants, productivity elements of soft winter wheat varieties of different ecological origin when using plant protection products. The highest height of wheat plants of the Ovidii variety is 115 cm, noted in areas with the use of integrated plant protection. It was established that the use of plant protection significantly increases the resistance of plants to the negative effects of fungal diseases. In the control variants (without protection), the incidence of *Septoria tritici* Rob. Et Desm in the Zira variety was 38.8%, and the incidence of *Blumeria graminis* F. sp. *tritici* (Bgt) was 33.4%. When using plant protection in the Zira variety, the incidence of *Septoria tritici* Rob. Et Desm decreased by 3.2–3.5 times, and the incidence of *Blumeria graminis* F. sp. *tritici* (Bgt) was 1.6–3. times.

In the variant with the Ovidii variety, the incidence of *Septoria tritici* Rob. Et Desm on the control variant was 34.4%, and the incidence of *Blumeria graminis* F. sp. *tritici* (Bgt) was 32.6%. When using protection, the incidence of *Septoria tritici* Rob. Et Desm decreased by 1.6–2.2 times and the incidence of *Blumeria graminis* F. sp. *tritici* (Bgt) by 1.6–3.4 times.

The photosynthetic potential reached the highest indicators when growing the Ovidii variety under integrated protection – 1810 thousand m² * day. When growing the Zira variety, the maximum photosynthetic potential was also observed when using integrated protection – 1769 thousand m² * day.

The use of integrated plant protection contributed to an increase in the photosynthetic potential of the Zira variety by 22.9%, and the Ovidii variety by 17.9%.

Biological plant protection increased grain yield by 6.1% in the Zira variety and by 4.2% in the Ovidii variety. Biological protection was less effective compared to chemical and integrated, but it can be used in biological farming.

The use of integrated protection of wheat varieties of different ecological origin provides an increase in grain yield by 17.9–22.9%. Plant protection when growing the Zira variety contributed to an increase in yield by 22.9%. The Ovidii variety also showed an increase in yield by 4.2–17.9% in all variants of plant protection application, which is due to the preservation of leafy and stem mass from damage by harmful organisms and the strengthening of production processes against this background.

For the conditions of the Southern Steppe, it is better to use winter wheat varieties created for the harsh climatic conditions of the Southern Steppe, namely Ovidii.

Key words: variety, soft winter wheat, plant protection, rust disease susceptibility, plant height, assimilation surface area, yield.

Вступ

Головною зерновою культурою в степовій зоні України була й залишається пшениця озима м'яка – основна годувальниця всього світу. За обсягами виробництва й урожайністю зерна в цій зоні вона, без-

перечно, посідає перше місце, але в силу складних екстремальних погодних умов і кліматичних змін, що спостерігаються останнім часом, її урожайність і валові збори зерна значно коливаються за роками.

Сорт, як гомогенна група схожих за господарсько-біологічними властивостями й морфологічними ознаками культурних рослин, створених шляхом селекції і наділених певними спадковими морфологічними, біологічними та господарськими ознаками і властивостями, у сучасних умовах промислового виробництва відіграє надзвичайно важливу роль. Здебільшого сорт є визначальним елементом інтенсивних технологій вирощування агрокультур. Правильно підібрані до кліматичних умов та рівня інтенсивності технології вирощування сорти є ефективним засобом, що підвищує врожайність на 6–20%, поліпшує якість продукції та економічні результати агровиробників (Шелепов та ін., 2006; Литвиненко, 2016).

Для отримання високих і сталих врожаїв пшениці озимої у Південному регіоні степної зони України запроваджуються новітні, інноваційні заходи технології вирощування, які забезпечують отримання максимального врожаю за будь-яких погодних умов року. У реалізації цієї проблеми провідну роль відіграє адаптивна, науково обґрунтована технологія, яка передбачає правильно підібрані системи захисту пшениці м'якої озимої від шкідливих організмів (Лебідь і Шевченко, 2000; Юркевич і Коваленко, 2009).

Сучасна епоха характеризується глобальним потеплінням і настанням світової енергетичної кризи, під час якої суттєво зростають витрати на виробництво сільськогосподарської продукції, у якій на хімічний захист рослин припадає переважна кількість коштів. Новітні прогресивні технології вирощування агрокультур разом із стабільним підвищенням урожайності потребують послідовного скорочення витрат енергетичних ресурсів на виробництво продукції (Медведовський і Іваненко, 1988; Корхова та ін., 2021).

Мінливість урожайності в окремі роки на 60–80% зумовлена погодними флуктуаціями, а також ваговим впливом на сталий ріст урожайності чинників зовнішнього довкілля, оптимізувати які техногенними засобами не завжди вдається (Чайка і Маматов, 2005).

Серед різноманітних сортів агрокультур лише деякі формують відносно стабільні врожаї в розрізі різних років і зон вирощування, а переважна їх кількість досить чутлива до екстремальних умов і тому різко зменшує рівень можливого врожаю. Збільшення виробництва зерна здійснюється на третину завдяки вдосконаленню елементів технології виробництва, а на дві

третини – завдяки впровадженню нових сортів. За підрахунками вчених, приріст урожайності зернових на 45–50% досягається через удосконалення нових технологій і на 50% – від впровадження нових стійких до уражень біотичними чинниками сортів (Жупина та ін., 2022; Вожегова та ін., 2024).

Характерною особливістю сортів озимої пшениці інтенсивного типу є висока вимогливість до ґрунтово-кліматичних, агротехнічних та інших умов вирощування, за наявності яких вони можуть максимально реалізовувати потенціальну врожайність.

Метою роботи було встановлення впливу різних систем захисту сортів озимої пшениці різного екологічного походження на морфометричні та фотосинтетичні показники рослин, встановлення ступеня ураженості патогенами за використання біологічних та хімічних пестицидів.

Матеріал і методи

Дослідження проводили протягом 2017–2020 рр. на дослідному полі Інституту зрошуваного землеробства НААН (нині Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН), що розташований у південно-західній частині Херсонської області у 12 км від м. Херсона на землях Інгулецької зрошувальної системи.

Двофакторний дослід (фактор А – сорт, В – система захисту рослин) закладали методом рендомізованих розщеплених блоків. Повторність чотириразова, посівна площа ділянки третього порядку – 75 м², облікова – 50 м². Попередник – чистий пар.

Об'єктом досліджень слугували такі сорти.

Сорт пшениці м'якої озимої Зіра. Оригіна́тор: ДУ Інститут зернових культур НААН, Синельниківська селекційно-дослідна станція Інституту зернових культур НААН. Сорт середньоранній, вегетаційний період – 286–295 діб. Колос циліндричний, з проміжною щільністю колосків, середньої довжини з низьким його похилом. Зернівка червона, яйцевидна. Маса 1000 зерен – 36–38 г. Соломина середньої товщини. Колоскова луска овальна, розміром 7–9 мм, слабо опушена. Якість: натура зерна – 763 г/л, сирого протеїну – 12,9–13,0%, клейковини – 26–29%. Належить до сильних сортів пшениці. Висока зимостійкість. Потужний стартовий ріст.

Сорт пшениці м'якої озимої Овідій. Оригіна́тор: Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства

НААН. Середньоранній, вегетаційний період – 280–285 діб. Морозостійкість вища за середню, посухостійкість і термостійкість високі. Стійкий до бурої іржі, фузаріозу, летючої і твердої сажок. Стійкий до вилягання, осипання і проростання зерна в колосі. Якість зерна: склоподібність – 94–97%, вміст білка в зерні – 13,2–14,2%, сирій клейковини – 31,5–35,7%. Належить до сильних пшениць.

У системі захисту рослин використовували такі пестициди. Біопрепарат Трихопсин БТ. Мікробіологічний препарат інсекто-фунгіцидної та рістстимулювальної дії. Діючою основою препарату є міцелій, спори гриба із роду *Trichoderma* та ризосферні бактерії роду *Pseudomonas* із титром не нижче ніж $2,0 \cdot 10^{10}$ КУО/см³, а також біологічно-активні речовини, що продукують штами-продуценти.

Інсектицид Нурел Д (хлорпіріфос – 500 г/л, циперметрин – 50 г/л). Хімічна група – фенілпірозоліни. Препаративна форма – концентрат емульсії. Шкодочинний об'єкт: злакові попелиці, клоп шкідлива черепашка, п'явиці, хлібна жужелиця, хлібні жуки. Спосіб та час обробки: обприскування в період вегетації. Норми витрати препарату: 0,5–0,75 л/га.

Фунгіцид Фалькон (Bayer). Діюча речовина: тебуконазол, 167 г/л + триадименол, 43 г/л + спіроксамін, 250 г/л. Препаративна форма: концентрат, що емульгується. Механізм дії – діючі речовини препарату є інгібіторами біосинтезу стеролів. Об'єкт: борошниста роса, септоріоз, бура іржа, фузаріоз листя. Норма витрати – 0,6 л/га.

Строк застосування: кушніня, прапорцевий лист. Максимальна кількість обробок – 1.

Дослідження проводили згідно методики польових дослідів (Вожегова та ін., 2014).

Ураженість септоріозом (*Septoria tritici* Rob. Et Desm.) і борошнистою росою (*Blumeria graminis* F. sp. *tritici* (Bgt) визначали в польових умовах за загальновизначеними методиками, використовуючи інтегровану шкалу ураженості зернових культур (Saari & Prescott, 1975; Бабаянц і Бабаянц, 2014; Петренкова та ін., 2018).

Результати та їх обговорення

Посушливі степові умови суттєво впливають на формування врожаю сільськогосподарських культур. Розвиток вегетативних і репродуктивних органів рослин залежить від рівня забезпеченості вологою, поживними речовинами, погодних умов, агрохімічних особливостей ґрунту, біологічних особливостей культури та інших умов зовнішнього середовища. Ростові процеси та ступінь ураженості патогенами безпосередньо вказують на рівень оптимізації умов вирощування пшениці озимої із застосуванням системи захисту рослин (табл. 1).

Встановлено, що висота рослин сортів має залежність від генотипу та систем захисту. Висота рослин була більшою у сорту Овідій завдяки генотиповим особливостям. Засоби захисту сприяли збільшенню висоти рослин в обох сортів. Найбільший вплив на висоту рослин чинив варіант з інтегрованим захистом. Зіставлення показників висоти рослин за впливу досліджуваних факторів і їх варіантів встановлено, що найбільша істотна різниця цього показника прояви-

Таблиця 1
Біометричні показники рослин пшениці озимої та ступінь ураження хворобами
(середнє за 2017–2020 рр.)

Захист рослин (фактор В)		Висота рослин, см	Кількість лист- ків на головному стеблі, шт.	Ураженість <i>Septoria tritici</i> Rob. Et Desm, %	Ураженість <i>Blumeria graminis</i> F. sp. <i>tritici</i> (Bgt), %
Зіра (фактор А)					
Без захисту		93,4	10,3	38,8	33,4
Біологічний		94,6	10,5	23,3	21,1
Хімічний		95,7	11,9	12,0	11,1
Інтегрований		96,9	12,1	10,8	9,9
Овідій (фактор А)					
Без захисту		95,1	10,8	34,4	32,6
Біологічний		95,5	11,0	21,0	20,3
Хімічний		96,2	12,4	11,9	10,7
Інтегрований		97,9	12,5	10,0	9,6
НІР ₀₅	А	1,25	0,30	0,08	0,05
	В	1,18	0,26	0,03	0,03

лася між контролем (без захисту) та інтегрованим захистом, що передбачав застосування біопрепаратів з ріст-стимулюючою дією.

Найбільша висота рослин сорту Зіра спостерігалася на варіанті з хімічним та інтегрованим захистом рослин – 95,7–96,9 см, зафіксовано зростання висоти порівняно з контрольним варіантом на 2,3–3,5 см.

На ділянках із сортом Овідій використання захисту рослин сприяло зростанню висоти рослин на 0,4–2,8 см. Найбільша висота рослин пшениці сорту Овідій (97,9 см) відмічена на ділянках із використанням інтегрованого захисту рослин.

Крім того, у польових дослідах встановлено, що застосування захисту рослин істотно підвищує стійкість рослин до негативного впливу грибних хвороб. Так, у контрольних варіантах (без захисту) ураженість сорту Зіра *Septoria tritici* Rob. Et Desm, становила 38,8%, а ураженість *Blumeria graminis* F. sp. tritici (Bgt) – 33,4%. З використанням захисту рослин у сорту Зіра ураженість *Septoria tritici* Rob. Et Desm знизилась у 3,2–3,5 разів, а ураженість *Blumeria graminis* F. sp. tritici (Bgt) – в 1,6–3,3 разів.

У варіанті із сортом Овідій ураженість на контрольному варіанті *Septoria tritici* Rob. Et Desm, становила 34,4%, а ураженість *Blumeria graminis* F. sp. tritici (Bgt) – 32,6%. З використанням засобів захисту ураженість *Septoria tritici* Rob. Et Desm зменшилась у 1,6–2,2 разів, а ураженість *Blumeria graminis* F. sp. tritici (Bgt) – в 1,6–3,4 разів.

Максимальна кількість листків на головному стеблі спостерігалась у сорту Зіра та у сорту Овідій за інтегрованого захисту рослин – 12,1 та 12,5 шт. відповідно.

У зв'язку з вирішенням проблеми підвищення врожайності озимої пшениці значно зростає роль фізіолого-генетичних досліджень мінливості структури і функцій фотосинтетичного апарату.

Численними науковими працями вчених встановлено, що площа листкової поверхні безпосередньо впливає на формування врожаю сільськогосподарських культур, у тому числі пшениці озимої (Панфілова & Гамаюнова, 2018). Величина врожаю пшениці озимої визначається фотосинтетичною діяльністю листка, від площі якого залежать цифрові градієнти коефіцієнта ефективності цього процесу. Однією з умов отримання високого врожаю зерна пшениці озимої є забезпечення оптимального розвитку площі листкової поверхні рослин у посіві

за максимальної інтенсивності її фотосинтезу (Письменний та ін., 2021). Формування площі листкової поверхні пшениці озимої залежить від біологічних особливостей сорту й елементів технології з варіантами засобів захисту (Шейко, 2023).

Вважається, що короткостеблові сорти відрізняються кращою ефективністю використання сонячної радіації, проте вони більше знижують урожай під впливом посухи, що пов'язано зі зменшенням маси їх коренів у верхньому шарі ґрунту (0–40 см) порівняно із середньорослими. Тому в посушливих регіонах перевагу мають середньорослі та високорослі сорти пшениці, які здатні формувати додатково 10–30% маси зерна завдяки фонду реутилізації вуглеводів та азоту з листків і стебла (Макрушин та ін., 2006).

Дослідження показали значну позитивну дію захисту рослин на площу листкової поверхні посівів, площу асиміляційного апарату однієї рослини та на фотосинтетичний потенціал у сортів, що вивчалися у польових дослідах (табл. 2).

Площа листків пшениці озимої максимальних розмірів досягає в період колосіння, після чого поступово зменшується через відмирання нижніх листків. За результатами проведених трирічних досліджень у зоні Південного Степу України встановлено, що площа листкової поверхні рослин пшениці озимої у варіанті із сортом Зіра позитивно залежить від захисту рослин. Варіанти захисту рослин сприяли підвищенню площі асиміляційної поверхні посіву на 2,2–11,9% (до 38,4–42,1 тис. м²/га). У варіанті із сортом Овідій позитивна дія захисту сприяла збільшенню площі асиміляційного апарату посіву на 3,1–13,1% до 43,5–47,7 тис. м²/га.

Фотосинтетичний потенціал досяг найбільших показників у вирощуванні сорту Овідій за інтегрованого захисту – 1810 тис. м² * діб. Під час вирощування сорту Зіра максимальний фотосинтетичний потенціал спостерігався також із застосуванням інтегрованого захисту – 1769 тис. м² * діб.

Результатами експериментальних досліджень доведено, що параметри ростових процесів агрофітоценозів пшениці та інших зернових культур максимально взаємопов'язані із чинниками формування вегетативної маси рослин, які обумовлюють величину врожаю та його якість (Шевченко та ін., 2006).

Процеси фотосинтезу, дихання, споживання вологи й поживних речовин з ґрунту

Таблиця 2

Вплив захисту рослин на площу листкової поверхні посівів пшениці озимої залежно від сортового складу (середнє за 2017–2020 рр.)

Захист рослин (фактор В)		Площа асиміляційного апарату посіву, тис. м ² /га	Площа асиміляційного апарату однієї рослини, см ²	Фотосинтетичний потенціал посіву, тис. м ² * діб
Зіра (фактор А)				
Без захисту		37,6	65,2	1680
Біологічний		38,4	68,9	1711
Хімічний		41,8	73,4	1755
Інтегрований		42,1	74,5	1769
Овідій (фактор А)				
Без захисту		42,2	67,3	1710
Біологічний		43,5	69,3	1785
Хімічний		47,1	75,1	1793
Інтегрований		47,7	76,2	1810
НІР ₀₅	А	1,28		
	В	1,05		

безпосередньо впливають на ростові процеси, наростання площі листкової поверхні, показники сирової біомаси та сухої речовини й синхронізуються з іншими фізіологічними та біологічними процесами. Процеси накопичення біологічної маси безпосередньо пов'язані з агротехнічними елементами та метеорологічними умовами (Харченко, 2013; Заєць та ін., 2020).

Органічні сполуки, що накопичуються в листкових пластинах за результатами фотосинтетичної діяльності, мають вирішальне значення щодо параметрів зернової продуктивності посівів пшениці озимої. Тому існує потреба в оптимізації елементів технології вирощування для підсилення

ростових процесів, фотосинтезу та формування надземної маси для одержання високих і якісних врожаїв (Заєць та ін., 2006; Заєць, 2008; Сметанко і Бурячковський, 2009).

У наших польових дослідках визначено, що приріст сирової надземної біомаси протягом вегетаційного періоду рослин озимої пшениці залежав від досліджуваних факторів – сортового складу та систем захисту рослин, причому ці показники значною мірою коливались у різні фази росту й розвитку (табл. 3).

У дослідках відмічена пряма позитивна дія наростання досліджуваного показника за використання сорту Овідій та із засто-

Таблиця 3

Динаміка накопичення сирової надземної маси пшеницею озимою залежно від сортового складу та захисту рослин, т/га (середнє за 2017–2020 рр.)

Захист рослин (фактор В)		Фаза розвитку			
		весняне кущіння	колосіння	налив зерна	молочна стиглість
Зіра (фактор А)					
Без захисту		6,4	20,8	24,0	17,5
Біологічний		6,8	23,5	29,6	21,6
Хімічний		7,0	25,9	31,2	26,3
Інтегрований		7,1	26,5	32,4	27,5
Овідій (фактор А)					
Без захисту		8,7	28,0	32,3	23,6
Біологічний		9,3	31,7	39,9	29,1
Хімічний		9,8	34,9	42,1	35,5
Інтегрований		9,9	35,7	43,7	37,1
НІР ₀₅	А	0,12	0,72	1,14	0,97
	В	0,08	0,63	1,02	0,80

суванням хімічного й інтегрованого захисту рослин. Причому, якщо у фазу весняного кущіння різниця між варіантами без захисту рослин і ділянками з біологічним, хімічним та інтегрованим захистом у фазі кущіння й колосіння дорівнювала 0,6–1,2 т/га, то у фазу наливу зерна – підвищилась до 5,5–13,5 т/га.

У період від наливу й до молочної стиглості зерна зафіксували зменшення надземної маси в усіх сполученнях факторів і їх варіантів, що пояснюється засиханням листя та реутилізації пластичних компонентів у колос. Застосування елементів захисту рослин сповільнювало цей процес.

Максимальний приріст сирі надземної маси зафіксовано у міжфазний період від колосіння до наливу зерна досліджуваних сортів. У варіантах із застосуванням захисту рослин від становив 0,72–0,86 т/га за добу, а його показники у варіанті без застосування засобів захисту рослин були нижчі в середньому на 14–25%. У подальшому – до фази повної стиглості добовий приріст почав зменшуватись, а наприкінці вегетації – повністю припинився.

Розвиток рослин і наростання листової площі за оптимізації умов живлення обумовлювало високий приріст сухої речовини. За результатами проведених досліджень встановлено, що інтенсивність наростання цього основного показника продуктивності рослин збільшувалася за використання різних схем захисту рослин (рис. 1).

Схожі тенденції проявились і стосовно показників сухої надземної маси між контролем (без захисту рослин) та варіантами із

застосуванням захисту рослин, які помітно зростали, особливо на ділянках із сортом Овідій, від фази кущіння – з 3,88 т/га до 4,33–4,37 т/га, до молочної стиглості – з 7,61 до 11,45–11,97 т/га відповідно.

У сорту Зіра суха надземна маса максимальна збільшилася за використання інтегрованого захисту рослин з 2,88 т/га у фазу кущіння на контрольному варіанті до 3,24 т/га за використання інтегрованого захисту. У фазу молочної стиглості суха надземна маса на контрольному варіанті становила 5,65 т/га і зросла до 8,88 т/га із застосуванням інтегрованого захисту.

Слід відзначити, що після настання фази «молочна стиглість зерна» зафіксовано підвищення кількості сухої речовини рослин, що суттєво відрізняється від показників сирі надземної маси, що можна пояснити трансформацією пластичних речовин у зерно досліджуваної культури та засиханням рослин. Найбільша суха надземна маса була встановлена у сорту Овідій із застосуванням інтегрованого захисту – 11,97 т/га, що більше за контроль на 57,2%.

Аналіз урожайних даних показав, що в середньому за роки проведення досліджень найменша зернова урожайність на рівні 4,75 т/га зафіксована у варіанті із сортом Зіра без захисту рослин (рис. 2).

Максимальна урожайність зерна спостерігалася в разі застосування інтегрованого захисту у сорту Овідій – 6,14 т/га, у сорту Зіра – 5,84 т/га.

Застосування захисту рослин під час вирощування сорту Зіра сприяло збільшенню врожайності на 6,1–22,9%. У сорту Овідій

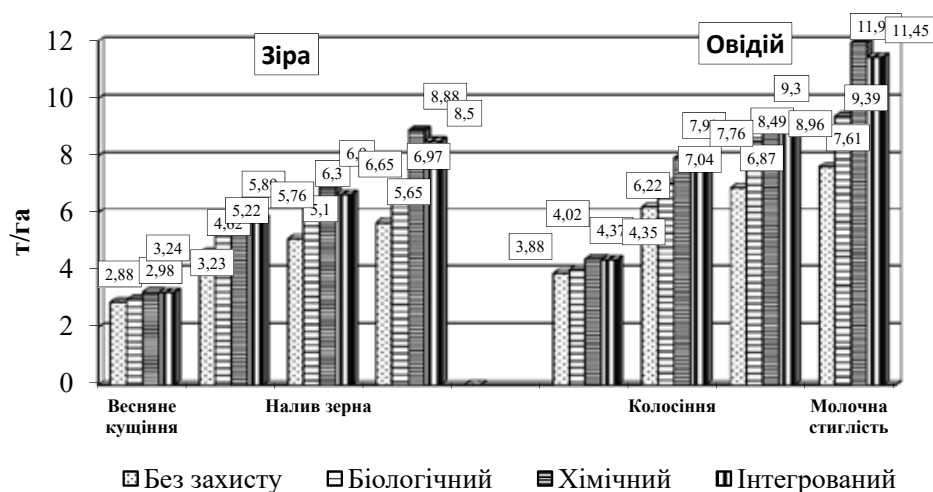


Рис. 1. Динаміка накопичення сухої надземної маси рослинами пшениці озимої у різні фази розвитку рослин, т/га (середнє за 2017–2020 рр.)

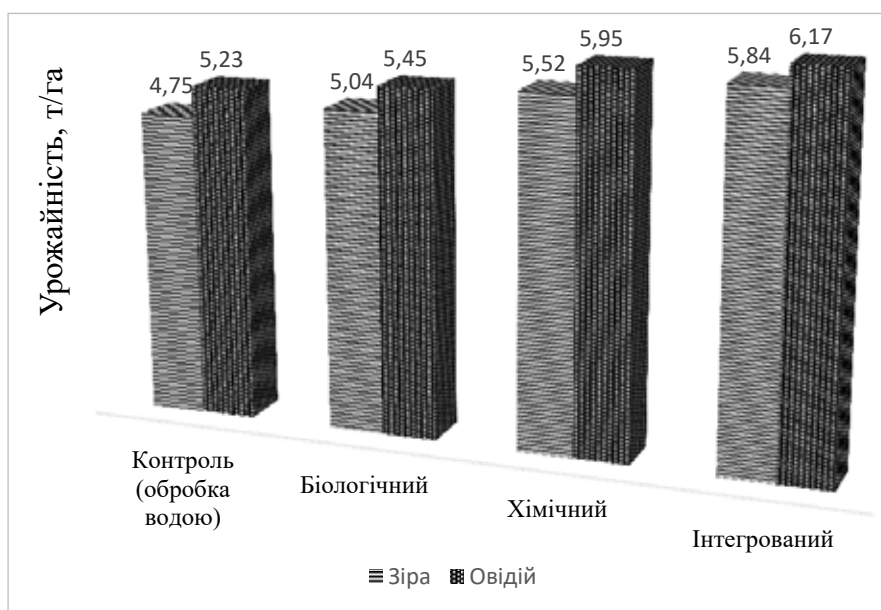


Рис. 2. Урожайність озимої пшениці та якість урожаю залежно від сортового складу та захисту рослин (середнє за 2017–2020 рр.)

також проявилось підвищення врожайності на 4,2–17,9% в усіх варіантах застосування захисту рослин, що обумовлено збереженням листостеблової маси від уражень шкідливими організмами та підсиленням на цьому фоні продукційних процесів.

Висновки

Засоби захисту сприяли збільшенню висоти рослин у сортів пшениці озимої. Найбільший вплив на висоту рослин чинив варіант з інтегрованим захистом, що передбачав застосування біопрепарату з ріст-стимулюючою дією.

Фотосинтетичний потенціал досяг найбільших показників у вирощуванні сорту Овідій за інтегрованого захисту – 1810 тис. м² * діб. За вирощування сорту Зіра максимальний фотосинтетичний потенціал спостерігався також із застосуванням інтегрованого захисту – 1769 тис. м² * діб.

Застосування інтегрованого захисту рослин сприяло збільшенню фотосинтетичного потенціалу сорту Зіра на 22,9%, а сорту Овідій – на 17,9%.

Біологічний засіб захисту рослин підвищував урожайність зерна на 6,1% у сорту

Зіра і у сорту Овідій – на 4,2%. Біологічний засіб захисту був менш ефективним порівняно із хімічним та інтегрованим, проте його можна використовувати за біологічного землеробства.

Максимальна урожайність зерна спостерігалась у разі застосування інтегрованого захисту у сорту Овідій – 6,14 т/га, у сорту Зіра – 5,84 т/га.

Застосування інтегрованого захисту сортів пшениці різного екологічного походження забезпечує зростання урожайності зерна на 17,9–22,9%. Захист рослин під час вирощування сорту Зіра сприяв збільшенню врожайності на 22,9%. У сорту Овідій також проявилось підвищення врожайності на 4,2–17,9% в усіх варіантах застосування захисту рослин, що обумовлено збереженням листостеблової маси від уражень шкідливими організмами та підсиленням на цьому фоні продукційних процесів.

Для умов Південного Степу краще використовувати сорти пшениці озимої, створені для жорстких кліматичних умов цієї зони, а саме Овідій.

Список використаної літератури

- Бабаянц О.В., Бабаянц А.Т. Основи селекції та методологія оцінок стійкості пшениці до збудників хвороб. Одеса : ВМВ. 2014. 401 с.
- Вожегова Р.А., Малярчук М.П. та ін. Методика польових і лабораторних досліджень на зрошуваних землях. Херсон : Гринь Д.С., 2014. 286 с.
- Вожегова Р.А., Марченко Т.Ю., Лавриненко Ю.О., Базалій Г.Г., Базалій В.В., Міщенко С.В. Вплив строків цвітіння на ознаки продуктивності у селекційних зразків пшениці

м'якої озимої, що створені з залученням західноєвропейських екотипів. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2024. Том 35. С. 18–22. <https://doi.org/10.7124/FEEO.v35.1652>.

Жупина А.Ю., Базалій Г.Г., Усик Л.О., Марченко Т.Ю., Лавриненко Ю.О. Успадкування стійкості до септоріозу (*Septoria tritici* Rob. Et Desm.) гібридами пшениці озимої різного еколого-генетичного походження в умовах зрошення. *Аграрні інновації*. 2022. № 12. С. 96–102. <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2022.12.15>.

Заєць С.О. Строки сівби озимого ячменю в умовах зрошення півдня України. *Зрошуване землеробство*. 2008. Вип. 49. С. 16–19.

Заєць С.О., Онуфран Л.І., Фундират К.С. Прояв урожайності сортів ячменю озимого за природного ураження грибними хворобами в умовах зрошення. *Генетика та селекція сільськогосподарських рослин – від молекули до сорту : матеріали IV інтернет-конференції молодих вчених* (Київ, 18 вересня 2020 р.). Київ, 2020. С. 10.

Заєць С., Найдьонова В., Найдьонов В., Ніжеголенко В. Кращі сорти зернових культур для умов богари та зрошення півдня України. *Пропозиція*. 2006. № 2. С. 49–52.

Корхова М.М., Нікончук Н.В., Панфілова А.В. Адаптивний потенціал нових сортів пшениці озимої в умовах Південного Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2021. Вип. 122. С. 48–55.

Лебідь Є.М., Шевченко О.О. Водоспоживання озимої пшениці та її продуктивність залежно від попередників, добрив та систем обробітку ґрунту. *Бюл. ІЗГ*. 2000. № 10. С. 54–59.

Литвиненко М.А. Створення сортів пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.), адаптованих до змін клімату на півдні України. *Збірник наукових праць. Селекційно-генетичного інституту Національного центру насіннєзнавства та сортовивчення*. 2016. Вип. 2 (67). С. 36–53.

Макрушин М.М. Фізіологія рослин. Вінниця : Нова Книга, 2006. 416 с.

Медведовський О.К., Іваненко П.І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ : Урожай. 1988. 208 с.

Онопрієнко Д.М., Охмат П.К., Волох П.В., Грицан Ю.І., Сокол С.П. Розвиток Придніпровського регіону: агроєкологічний аспект. Дніпровський ДАЕУ. Дніпро : Ліра, 2021. 820 с.

Панфілова А.В., Гамаюнова В.В. Фотосинтетична діяльність посівів пшениці озимої залежно від сорту та живлення в умовах Південного Степу України. *Наукові горизонти*. 2018. № 2 (65). С. 3–10.

Петренко В.П., Боровська І.Ю., Лучна І.С, Сокол Т.В., Ниска І.М., Кучеренко Є.Ю., Компанець К.В. Методологія виділення форм польових культур за стійкістю до комплексу біота абіотичних чинників. Харків : ФОП Бровін. 2018. 242 с.

Сметанко О.В., Бурячковський В. Г. Ефективність біологічних фунгіцидів, стимуляторів росту, мікродобрив при застосуванні під озиму пшеницю. *Вісник аграрної науки Південного регіону: міжвідомчий тематичний науковий збірник*. Сільськогосподарські та біологічні науки. Одеса: РВА СМІЛ, 2009. Вип. 10. С. 100–107.

Харченко Т.Б. Перспективи розвитку ринку органічної продукції в Україні. *Економіка АПК*. 2013. № 9. С. 37–41.

Чайка В.Г., Маматов М.О. Організаційне та наукове забезпечення поліпшення стану насінництва в Україні. *Збірник наукових праць СГП*. 2005. Вип. 5 (45). С. 225–231.

Шевченко В.П., Каленська С.М., Демидась П.І. Біологічне рослинництво. Київ : НАУ, 2006. 39 с.

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/agra.innov.2023.19.18>.

Шелепов В.В., Іщенко В.І., Чебаков М.П., Лебедева Г.Д. Сорт і його значення в підвищенні врожайності. *Сортівництво та охорона прав на сорти рослин*. 2006. № 3. С. 108–114.

Юркевич Є.О., Коваленко Н.П. Особливості технологій вирощування зернових культур у різно-ротаційних сівоzmінах південного Степу України *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2009. № 3. С. 28–35.

Saari E.E., Prescott J.M. A scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases. *Plant Dis. Rep.* 1975. No. 59. P. 377–380.

References

Babayants, O.V., & Babayants, L.T. (2014). Osnovy selektsii ta metodolohiia otsinok stiikosti pshentsi do zbudnykiv khvorob [Fundamentals of selection and methodology for assessing the resistance of wheat to illness]. Odessa: VMV [in Ukrainian].

- Vozhegova, R.A., & Malyaruk, M.P. (2014). Metodyka polovoykh i laboratornykh doslidzhen na zroshuvanykh zemliakh [Methods of field and laboratory investigations on destroyed lands]. Kherson: Grin D.S., p. 286 [in Ukrainian].
- Vozhegova, R.A., Marchenko, T.Yu., Lavrynenko, Y.O., Bazalii, G.G., Bazalii, V.V., & Mishchenko, S.V. (2024). Vplyv strokiv tsvitinnia na oznaky produktyvnosti u selektsiinykh zrazkiv pshenytsi miakoi ozymoi, shcho stvoreni z zaluchenniam zakhidnoievropeiskykh ekotypiv [The influence of flowering times on productivity traits in breeding samples of soft winter wheat created with the involvement of Western European ecotypes]. *Fakторы eksperymentalnoi evoliutsii orhanizmiv [Factors of experimental evolution of organisms]*, 35, 18–22. <https://doi.org/10.7124/FEEO.v35.1652> [in Ukrainian].
- Zhupyna, A.Iu., Bazalii, H.H., Usyk, L.O., Marchenko, T.Iu., & Lavrynenko, Yu.O. (2022). Uspadkuvannia stiikosti do septoriozu (*Septoria tritici* Rob. Et Desm.) hibrydamy pshenytsi ozymoi riznogo ekoloho-henetychnoho pokhodzhennia v umovakh zroshennia [Inheritance of resistance to Septoria blight (*Septoria tritici* Rob. Et Desm.) in winter wheat hybrids of different ecological and genetic origin under irrigation conditions]. *Ahrarni innovatsii [Agrarian Innovations]*, 12, 96–102. <https://doi.org/10.32848/ahar.innov.2022.12.15> [in Ukrainian].
- Zayets, S.O. (2008). Stroky sivby ozymoho yachmeniu v umovakh zroshennia pivdnia Ukrainy. [Sowing dates for winter barley under irrigation conditions in southern Ukraine]. *Zroshuvane zemlerobstvo [Irrigated agriculture]*, 49, 16–19 [in Ukrainian].
- Zayets, S.O., Onufan, L.I., & Fundyrat, K.S. (2020). Proiav urozhainosti sortiv yachmeniu ozymoho za pryrodnoho urazhennia hrybnymy khvorobamy v umovakh zroshennia [Manifestation of yield of winter barley varieties under natural damage by fungal diseases under irrigation conditions]. Henetyka ta selektsiia silskohospodarskykh roslyn – vid molekuly do sortu: materialy IV internet-konferentsii molodykh vchenykh (Kyiv, 18 veresnia 2020 r.) [Genetics and breeding of agricultural plants – from molecule to variety: materials of the IV Internet conference of young scientists (Kyiv, September 18, 2020)], p. 10 [in Ukrainian].
- Zayets, S., Naydionova, V., Naydionov, V., & Nizhegolenko, V. (2006). Krashchi sorty zernovykh kultur dlia umov bohary ta zroshennia pivdnia Ukrainy. [The best varieties of grain crops for the conditions of rainfed and irrigation in southern Ukraine]. *Propozytsiia [Proposal]*, 2, 49–52 [in Ukrainian].
- Korkhova, M.M., Nikonchuk, N.V., & Panfilova, A.V. (2021). Adaptivnyi potentsial novykh sortiv pshenytsi ozymoi v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy [Adaptive potential of new winter wheat varieties in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Tavria Scientific Bulletin]*, 122, 48–55 [in Ukrainian].
- Lebid, E.M., & Shevchenko, O.O. (2000). Vodospozhyvannia ozymoi pshenytsi ta yii produktyvnist zalezho vid poperednykiv, dobryv ta system obrobittu gruntu [Water consumption of winter wheat and its productivity depending on predecessors, fertilizers and tillage systems]. *Biul. IZH. [Bull. IZG.]*, 10, 54–59 [in Ukrainian].
- Litvinenko, M.A. (2016). Stvorennia sortiv pshenytsi miakoi ozymoi (*Triticum aestivum* L.), adaptovanykh do zmin klimatu na Pivdni Ukrainy [Creation of varieties of soft winter wheat (*Triticum aestivum* L.) adapted to climate change in the South of Ukraine. Collection of scientific papers]. *Zbirnyk naukovykh prats. Seleksiino-henetychnoho instytutu Natsionalnoho tsentru nasinnieznavstva ta sortovyvchennia [Selection and Genetic Institute of the National Center for Seed Science and Variety Research]*, 2 (67), 36–53 [in Ukrainian].
- Makrushin, M.M. (2006). Fiziologhiia roslyn [Physiology of Plants]. Vinnytsia: Nova Knyga, 416 [in Ukrainian].
- Medvedovsky, O.K., & Ivanenko, P.I. (1988). Enerhetychnyi analiz intensyvnykh tekhnolohii v silskohospodarskomu vyrobnytstvi [Energy analysis of intensive technologies in agricultural production]. Kyiv: Urozhay [in Ukrainian].
- Onoprienko, D.M., Okhmat, P.K., Voloh, P.V., Hrytsan, Yu.I., & Sokol, S.P. (2021). Rozvytok Prydniprovskoho rehionu: ahroekolohichnyi aspekt [Development of the Dnieper region: agroecological aspect]. Dniprovskiy DAEU. Dnipro: Lira [Dnipro State Agricultural University. Dnipro: Lira] [in Ukrainian].
- Panfilova, A.V., & Hamaiunova, V.V. (2018). Photosynthetic activity of winter wheat crops depending on the variety and nutrition in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine [Fotosyntetychna diialnist posviv pshenytsi ozymoi zalezho vid sortu ta zhyvlennia v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy]. *Naukovi horyzonty [Scientific Horizons]*, 2 (65), 3–10 [in Ukrainian].

Petrenkova, V.P., Borovska, I.Yu., Luchna, I.S., Sokol, T.V., Niska, I.M., Kucherenko, E.Yu., & Kompanets, K.V. (2018). Metodolohiia vydilennia form polovykh kultur za stiikistiu do kompleksu bio- ta abiotychnykh chynnykiv [Methodology of seeing the forms of field crops for resistance to the complex of biota of abiotic officials]. Kharkiv: FOP Brovin [in Ukrainian].

Smetanko, O.V., & Buryachkovsky, V.G. (2009). Efektyvnist biolohichnykh funhitsydiv, stymuliatoriv rostu, mikrodobryv pry zastosuvanni pid ozymu pshenytsiu. [The effectiveness of biological fungicides, growth stimulants, and microfertilizers when used for winter wheat]. *Visnyk ahrarnoi nauky Pivdennoho rehionu: mizhvidomchyi tematychnyi naukovyi zbirnyk. Silskohospodarski ta biolohichni nauky*. Odesa: RVA SMYL [Bulletin of Agrarian Science of the Southern Region: Interdepartmental Thematic Scientific Collection. Agricultural and Biological Sciences], Odesa: RVA SMYL, 10, 100–107 [in Ukrainian].

Kharchenko, T.B. (2013). Perspektyvy rozvytku rynku orhanichnoi produktsii v Ukraini. [Prospects for the development of the organic product market in Ukraine]. *Ekonomika APK [Economics of the Agricultural Industry]*, 9, 37–41 [in Ukrainian].

Chayka, V.G., & Mamatov, M.O. (2005). Orhanizatsiine ta naukove zabezpechennia polipshennia stanu nasinnystva v Ukraini [Organizational and scientific support for improving the state of seed production in Ukraine]. *Collection of scientific papers of the SGI. [Zbirnyk naukovykh prats SHI.]*, 5 (45), 225–231 [in Ukrainian].

Shevchenko, V.P., Kalenska, S.M., & Demydas, P.I. (2006). Biolohichne roslynnytstvo [Biological Plant Breeding]. Kyiv: NAU [in Ukrainian].

Shelepov, V.V., Ishchenko, V.I., Chebakov, M.P., & Lebedeva, G.D. (2015). Sort i yoho znachennia v pidvyshchenni vrozhaivosti [Variety and its importance in increasing yield]. *Sortovyvchennia ta okhrona prav na sorty roslyn [Variety study and protection of plant variety rights]*, 3, 108–114 [in Ukrainian].

Sheiko, D.V. (2023). Fotosyntetychnyi potentsial sortiv pshenytsi ozymoi zalezho vid sposobiv zastosuvannia biolohichno aktyvnykh preparativ v umovakh zakhidnoho Lisostepu [Photosynthetic potential of winter wheat varieties depending on the methods of applying biologically active preparations in the conditions of the western Forest-Steppe]. *Ahrarni innovatsii [Agrarian Innovations]*, 19, 115–119. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.19.18> [in Ukrainian].

Yurkevich, E.O., & Kovalenko, N.P. (2009). Osoblyvosti tekhnolohii vyroshchuvannia zernovykh kultur u rizno-rotatsiinykh sivozminakh pivdennoho [Peculiarities of technologies for growing grain crops in multi-rotational crop rotations of the southern Steppe of Ukraine]. *Stepu Ukrainy Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy]*, 3, 28–35 [in Ukrainian].

Saari, E.E., & Prescott, J.M. (1975). A scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases. *Plant Dis. Rep.*, 59, 377–380 [in English].

Отримано: 20.01.2025

Прийнято: 10.02.2025



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 11
Український журнал природничих наук
№ 11

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

УДК 631.581.5:631524.84:633.34
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.13>

ВПЛИВ БІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ НА ДИНАМІКУ ФОРМУВАННЯ МОРФОЛОГІЧНИХ ОЗНАК СОЇ

О. М. Зубко¹, С. І. Бердін², Є. Ю. Бутенко³, А. А. Ставицький⁴

*Вплив біопрепаратів на продуктивність рослин сої здебільшого виражається в реакції сорту на формування стебла та закладання на ньому репродуктивних органів. Метою роботи було дослідити динаміку морфологічних ознак протягом вегетативного розвитку кущів сої сорту Сибірська, засіяних насінням, окремо обробленим інокулянтном ризогміном (2 кг/т) або стимулятором росту рослин біоглобіном (1,0 л/т). Досліджували також варіанти сумісного застосування цих препаратів. Для встановлення загальної закономірності було поставлено за мету вивчити особливості формування ростових показників рослин під впливом біопрепаратів на етапах розвитку сої, а також визначити вплив біопрепаратів на формування листкового апарату рослин сої. Відповідно до основних завдань дослідження в роботі розглянуто формування біологічних параметрів куща в динаміці розвитку генеративних органів у розрізі продуктивної структури залежно від схеми передпосівної обробки насіння. Збільшення товщини листкової пластинки відбувалося через зміни у її мезофілі. Збільшувався розмір клітин стовпчастої асимільованої тканини власної пластинки, яка відіграє основну роль у фотосинтетичному процесі, тоді як лінійні розміри губчастої паренхіми, ймовірно, залишалися незмінними. Таким чином, встановлено, що анатомо-морфологічні зміни під впливом інокуляції насіння штамами *Bradyrhizobium japonicum* перед сівбою призвели до підвищення параметрів продуктивності та формування зовнішніх*

¹ аспірант кафедри агротехнологій та ґрунтознавства
(Сумський національний аграрний університет, м. Суми)
e-mail: andb201727@ukr.net
ORCID: 0009-0003-2728-2116

² кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри селекції і насінництва
(Сумський національний аграрний університет, м. Суми)
e-mail: serber00@ukr.net
ORCID: 0000-0002-2337-4107

³ доктор філософії,
доцент кафедри агротехнологій та ґрунтознавства
(Сумський національний аграрний університет, м. Суми)
e-mail: evg.butenko2011@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8904-519X

⁴ кандидат сільськогосподарських наук,
старший викладач кафедри селекції і насінництва
(Сумський національний аграрний університет, м. Суми)
e-mail: stavytzkyi.a.a@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8580-5366

ознак у рослин сої під впливом біопрепаратів. Спостерігалася різна реакція рослин сої на передпосівну обробку насіння інокулянтном ризогуміном (2 кг/т) та/або стимулятором росту біоглобіном (1,0 л/т). Окреме застосування біопрепаратів зазвичай призводило до збільшення параметрів куща порівняно з контролем (виняток становить початковий ріст рослин у варіанті з біоглобіном С. Показники сортів, окремо обприсканих ризогуміном і біоглобіном, були в середньому на 14% вищими за контроль. Сумісне застосування препаратів не виявило суттєвих відмінностей у формуванні листкового апарату порівняно з контролем.

Ключові слова: регулятор росту, інокулянт, біопрепарат, морфологічні ознаки, асиміляційна поверхня.

INFLUENCE OF BIOLOGICAL PREPARATIONS FOR PRE-SOWING SEED TREATMENT ON THE DYNAMICS OF SOYBEAN MORPHOLOGICAL TRAITS FORMATION

O. M. Zubko, S. I. Berdin, Ye. Yu. Butenko, A. A. Stavitskyi

*The influence of biological products on soybean plant productivity is mainly expressed in the reaction of the variety to stem formation and the establishment of reproductive organs on it. The aim of the study was to investigate the dynamics of morphological traits during the vegetative development of soybean bushes of Sibirska variety sown with seeds separately treated with the inoculant rhizogmine (2 kg/t) or the plant growth stimulator bioglobulin (1.0 l/t). We also studied options for the combined use of these drugs. In order to establish a general pattern, the goal was to study the peculiarities of the formation of plant growth parameters under the influence of biological products at the stages of soybean development, as well as to determine the effect of biological products on the formation of the leaf apparatus of soybean plants. Based on the main objectives of the study, the formation of biological parameters of the bush in the dynamics of development of generative organs in the context of the productive structure depending on the scheme of pre-sowing seed treatment was considered. The increase in the thickness of the leaf blade was due to changes in its mesophyll. The size of the cells of the columnar assimilated tissue of the blade itself, which plays a major role in the photosynthetic process, increased, while the linear dimensions of the spongy parenchyma probably remained unchanged. Thus, it was found that anatomical and morphological changes under the influence of seed inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* strains before sowing led to an increase in productivity parameters and the formation of external traits in soybean plants under the influence of biological products. There was a different reaction of soybean plants to pre-sowing seed treatment with the inoculant rhizogmin (2 kg/t) and/or growth stimulator bioglobulin (1.0 l/t). Separate use of biological products usually leads to an increase in the parameters of the bush compared to the control (the exception is the initial growth of plants in the variant with bioglobulin C. The performance of varieties separately sprayed with rhizogmin and bioglobulin was on average 14% higher than the control. The combined use of the preparations did not reveal any significant differences in the formation of the leaf apparatus compared to the control.*

Key words: growth regulator, inoculant, biological product, morphological features, assimilation surface.

Вступ

Науковий підхід до раціонального використання сортових ресурсів в умовах регіонів рослинництва України сприяє раціональному використанню біокліматичних і ресурсних можливостей, реалізації генотипового потенціалу та формуванню продуктивної та стабільної агроєкосистеми сої (Бутенко та ін., 2020; Циганська, 2021).

Важливим фактором підвищення врожайності цієї культури є удосконалення технологій вирощування (Вишнівський і Фурман, 2020). Вплив складних умов росту і розвитку на рослину проявляється у зміні

параметрів факторів продуктивності сої. Взаємозв'язки між основними групами факторів визначають рівень урожайності сої. Однак сучасні вимоги до екологічної безпеки продукції, що відповідає європейським стандартам, взяли гору над розробкою нових технологій вирощування цієї культури. Адже поява нових сортів сої та нових видів добрив потребує проведення великої кількості досліджень щодо їх застосування (Дмитрук і Гавій, 2018).

Контроль морфогенезу рослин є невід'ємною частиною агротехнологічних прийомів вирощування культури. Основними

методами регулювання морфогенезу кущів є вплив на висоту стебла, схожість насіння, прискорення цвітіння й інтенсивність фотосинтетичних процесів (Заболотний та ін., 2021).

На ростові процеси переважно впливають регулятори росту рослин (інгібітори та стимулятори). Інгібітори (пригнічувачі) діють на апікальну меристему і зменшують ріст рослин (Нагорний і Мурач, 2011). Ця дія підвищує стійкість рослин до вилягання через зменшення довжини та збільшення діаметра між окремими вузлами стебла. Загалом інгібуючий ефект виражається у збільшенні ширини стеблових кілець, росту основної речовини, кількості судинних пучків та елементів механічної організації, що їх оточують. Слід зазначити, що вкорочення стебел сої зменшує площу листових органів.

Оскільки більшість учених стверджують, що продуктивність сої істотно залежить від ефективності листового апарату (Шевніков та ін., 2015; Zhou et al., 2020; Kots et al., 2021; Заболотний та ін., 2021), доцільність застосування інгібіторів росту в посівах може бути поставлена під сумнів. Однак використання інгібіторів росту в поєднанні з інокулянтами може збільшити як кількість листків сої, так і асимільовану площу, що дає змогу уникнути негативного впливу інгібіторів росту (Heatherly et al., 2003).

На фоні дії інгібіторів інокуляція насіння перед сівбою призводила до кращого розвитку листків у сої і водночас до підвищення міцності стебла. Відомо, що фотосинтетична активність листків значною мірою визначається їхньою проміжною структурою. В основі морфогенетичних змін у рослинах сої за дії ретардантів лежить перебудова фітогормональних комплексів, зокрема зниження активності гібереліну та підвищення вмісту абсцизової кислоти в тканинах, що було встановлено в попередніх дослідженнях (Didur et al., 2019).

Проте вплив ретардантів на проміжні структурні властивості листків вивчено недостатньо. Було відмічено, що застосування нового ретарданту флурпримідолу на рослинах сої збільшувало інтенсивність фотосинтезу та зменшувало площу листової поверхні порівняно з контролем (Шарубін і Нагорний, 2012).

Збільшення висоти стебла у сої може підвищити врожайність, оскільки здатне сформувати більше бобів. Водночас високі рослини більш схильні до зламу стебла та вилягання, особливо за несприятливих

погодних умов, як-от сильний вітер і зливи. Товщина стебла допомагає йому протистояти цим несприятливим умовам. Тому, чим товще стебло, тим більші його міцність і стійкість до вилягання. Це особливо важливо не тільки в несприятливих погодних умовах, але й за високого навантаження на плоди (Шевніков та ін., 2015).

Міцні стебла допомагають утримувати рослину у вертикальному положенні та запобігають пошкодженням, що призводять до втрати врожаю. Іншим показником просторового розташування стебел є розгалуженість. Розгалужені стебла сприяють утворенню більшої кількості квіток. Соя з більшою кількістю квітучих гілок і кращим розгалуженням дає більше бобів і вищу врожайність. Однак на продуктивність впливає не кількість гілок, а рівномірний розподіл гілок по всій рослині. По-перше, більша кількість гілок запобігає загущенню куща, а по-друге, гілки не повинні розташовуватися занадто низько від основи рослини. Останнє полегшує збирання врожаю і допомагає уникнути пошкодження бобів (Заболотний та ін., 2021).

Загалом оптимальна структура стебла сої сприяє збільшенню кількості плодоносних гілок, стійкості до вилягання та максимальній продуктивності. Однак слід пам'ятати, що вплив структури стебла може змінюватися залежно від генетичних особливостей сорту, умов вирощування й агротехніки, що практикується в конкретному господарстві.

Структура стебла тісно пов'язана зі структурою листової організації та репродуктивною системою. Дослідження, спрямовані на сприяння газообміну, який може бути індикатором підвищеної фотосинтетичної активності та непрямим критерієм відбору на продуктивність у селекційній практиці, показали, що морфологія листка (щільність прорихів, провідність, довжина закритих клітин тощо) є дуже мінливою. Численні результати дослідників засвідчили, що на продуктивність сої в кінцевому підсумку впливає провідність прорихів. Це вказує на важливість структури листків у газообміні як фактора, що підвищує продуктивність сухої речовини та використання води (Zhou et al., 2020; Kots et al., 2021; Заболотний та ін., 2021).

Матеріал і методи

Матеріалом для досліджень слугувало оригінальне насіння сорту сої Сіверка, біостимулятор біоглобін (водно-сольовий екстракт із плаценти сільськогосподарських

культур, зі спеціальною хімічною обробкою тканини), інокулянт ризогмін, який вирощували на спеціально підготовленому торфі з двома штамами бактерій *Bradyrhizobium japonicum*, біологічно активні речовини біологічного походження (ауксини, цитокиніни, амінокислоти та гумінові кислоти), хелатні мікроелементи та сполуки макроелементів у стартових концентраціях. Дослідження проводили у 2023–2024 рр. у зоні нестійкого зволоження північно-східній лісостеповій зоні України. Ґрунт дослідних ділянок – чорнозем типовий малогумусний зі вмістом гумусу 3,8%, кислотною реакцією ґрунту 6,2, вмістом рухомого фосфору 21,4 мг/100 г та обмінного калію 10,2 мг/100 г. Насіння сої висівали суцільним способом із пророщеного насіння, попередньо обробленого Авідом (1 л/т) з нормою висіву 0,850 млн насінин/га. Безпосередньо перед сівбою насіння обробляли водою та біопрепаратами: ризогуміном (2 кг/т), біоглобіном (1,0 л/т) або їх сумішшю (табл. 1).

Технології вирощування сої є загальноприйнятими в лісостеповій і степовій зонах північного сходу. Польові дослідження проводили відповідно до «Методики випробування державних сортів сільськогосподарських культур» (Волкодав, 2001). Математичну обробку результатів проводили методом дисперсійного аналізу з використанням програми Statistica 6.0 (Царенко та ін., 2000).

Результати та їх обговорення

Стеблоутворення в сільськогосподарських культур переважно визначається густотою рослин на одиниці площі. Наші результати показують, що норма висіву (згідно з методикою досліджень) 850 000 рослин/га дає врожайність від 741 000 рослин/га до 784 000 рослин/га, залежно від сорту (рис. 1).

Аналіз результатів показав позитивний вплив ризогуміну (2 кг/т) на схожість. На обох сортах спостерігалось збільшення кількості рослин, що проростали, на 4,5–4,7%

в обох варіантах з інокулянтом. Обробка насіння стимулятором росту біоглобін (1,0 л/т) не призвела до збільшення кількості пророслих рослин на одиниці площі. Зниження схожості на 0,4% у цього сорту порівняно з контролем було в межах похибки експерименту. Слід зазначити, що відсоток схожості не є остаточним показником кількості рослин, які сформували врожай сої. Тому було досліджено показник густоти стояння рослин протягом вегетації (табл. 2). Кількість рослин у фазу сходів коливалася від 74,1 до 78,4 рослин/м², з різницею між дослідями 5,1%, але під час вегетації кількість рослин (густота рослин) зменшилися до 59,5–61,4 тис. рослин.

Варіанти мали майже однаковий рівень кількості полеглих рослин, трохи вищий за 80%, і лише показник для контрольного варіанта був вищим за 82% виживання рослин. Усі ці показники були в межах похибки експерименту.

Одним з основних показників структури куща рослин є його висота. Дослідження формування висоти рослин сої залежно від передпосівних обробок і фаз вегетативного розвитку наведено на рисунку 2.

Висоту рослин досліджували на чотирьох фазах розвитку: третя фаза трьох листків, початок цвітіння, кінець цвітіння та стиглість. Результати показали, що препарат ризогмін (2 кг/т) стимулював ріст стебел на ранніх стадіях росту рослин. Ця стимуляція призвела до майже 14% переваги рослин, оброблених інокулянтом, над контрольними рослинами в обох сортах. Водночас комбінація ризогміну та біоглобіну не відрізнялася від ефекту чистого ризогміну (+1,6%). Ефекту біоглобіну в цей період не спостерігалось. Ріст рослин у цьому варіанті був на рівні контролю. Збільшення висоти рослин під час цвітіння відрізнялося від попередньої фази дослідження. Найбільший приріст спостерігався у рослин з насіння, обробленого біоглобіном (1,0 л/т) у період від утворення третього трійчастого листка до фази

Таблиця 1

Схема польового дослідження дії біологічних препаратів на параметри посівів сої

№ з/п	Варіанти	Способи обробки
1	контроль	без обробки препаратами (обробка насіння водою)
2	ризогумін (2 кг/т)	інокуляція насіння
3	біоглобін (1,0 л/т)	обробка насіння біостимулятором
4	ризогумін (2 кг/т) + + біоглобін (1,0 л/т)	інокуляція та обробка насіння біостимулятором

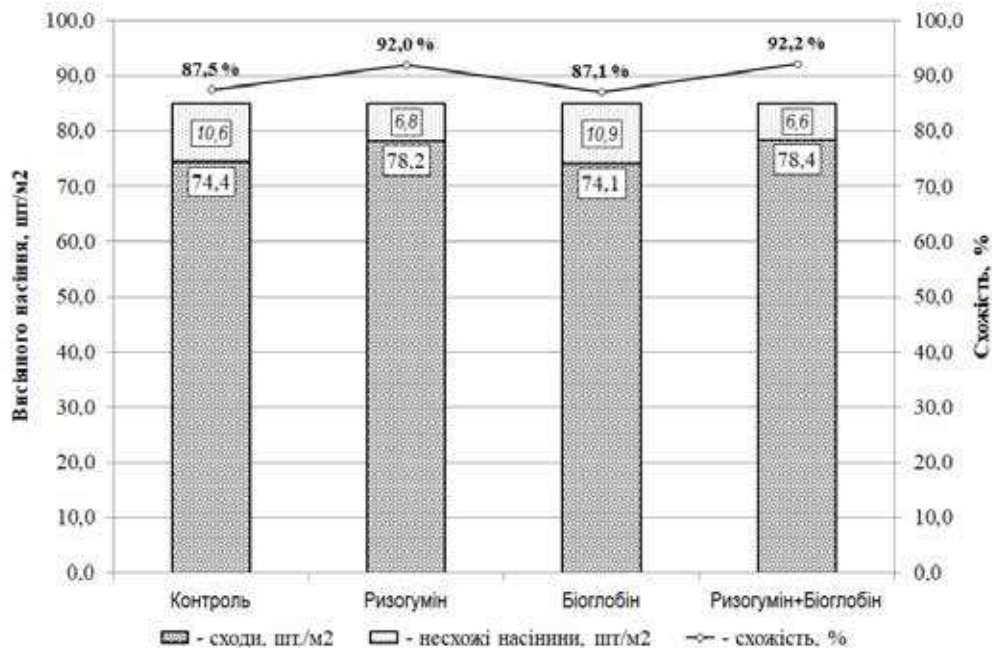


Рис. 1. Параметри показників схожості в посівах сої (2023–2024 рр.)

Таблиця 2

Динаміка формування густоти стояння рослин сої (2023–2024 рр.)

Варіанти дослідів	Польова схожість, %	Густота рослин, шт./м²		Збереження рослин, % до кількості сходів
		повні сходи	повна стиглість	
контроль	87,5	74,4	61,4	82,5
ризогумін	92,0	78,2	62,7	80,2
біоглобін	87,1	74,1	59,5	80,4
ризогумін+біоглобін	92,2	78,4	62,7	80,0

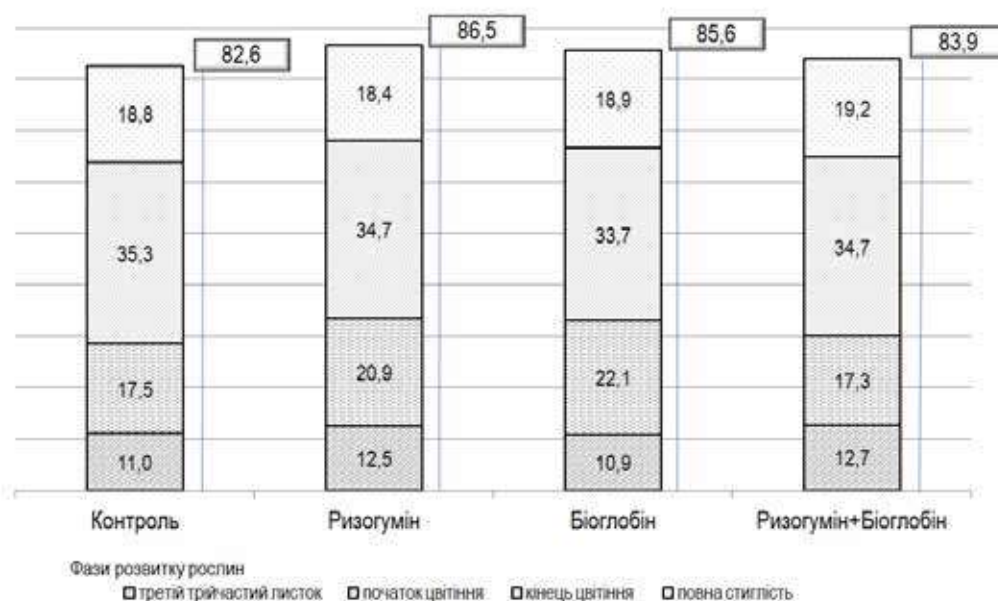


Рис. 2. Динаміка формування висоти рослин в посівах сої, см (2023–2024 рр.)

цвітіння. Інтенсивність росту в цьому варіанті була майже на 26% вищою, ніж у контролі. Ріст сортів, оброблених ризогуміном (2 кг/т), був на 5,5% нижчим за ріст рослин, оброблених біоглобіном (1,0 л/т), але значно вищим як за контроль, так і за комбінованого застосування стимуляторів росту. У цей період ріст на останньому варіанті був на рівні контролю.

Результати показали, що рослини з обробкою інокулянтами мали висоту до 33,4 см, а зі стимуляторами росту – до 33,0 см на початку цвітіння. Рослини сої у варіантах з комбінованими препаратами були на рівні 30,0 см, тоді як рослини у варіанті без обробки препаратами (контроль) досягли лише 28,5 см. Наприкінці цвітіння рослини кожного варіанта рівня обробки показали такі значення: контроль – 63,8 см, ризогумін (2 кг/т) – 68,1 см, біоглобін (1,0 л/т) – 66,7 см, комбінована обробка (ризогумін + біоглобін) – 64,7 см. Максимальний приріст спостерігався на варіанті без обробки біопрепаратами (35,3 см). Приріст рослин сої з обробкою насіння ризогуміном становив 34,7 см як у чистому вигляді, так і зі стимуляторами росту, що на 2% менше, ніж у контролі. Однак у варіантах із біостимуляторами цей показник був на 4,6% нижчим за контроль.

Як бачимо, тенденція зміни висоти стебел в кінці цвітіння була такою ж, як і на початку цвітіння, але це було пов'язано з незначною різницею в темпах приросту висоти рослин під час цвітіння. Показник висоти стеблестю під час збирання був на рівні 82,6–86,5 см. Варіація коливання висоти рослин на завершальному етапі розвитку становила 4,7%. Від кінця цвітіння до повної стиглості рослини мали приріст більше ніж на 18 см. Найнижчий приріст спостерігався у варіанті з ризогуміном (2 кг/т) – 18,4 см, а найвищий – за сумісного застосування інокулянта та стимулятора росту – 19,2 см.

Динаміка росту рослин сої, оброблених ризогуміном (2 кг/т) і біоглобіном (1,0 л/т) за різних систем показала, що висота рослин була майже однаковою, але інтенсивність їх росту за фазами розвитку відрізнялася. Рослини на ділянках з обробкою інокулянтом інтенсивніше росли у фазі сходів трьох справжніх листків і на початку цвітіння – наприкінці цвітіння, тоді як стимулятор росту найбільше впливав на інтенсивність росту рослин у фазі трьох справжніх листків – початок цвітіння.

За біометричними показниками кущі сої характеризуються не тільки параметрами габітусу рослин, але й кількістю гілок на кущі, що є важливим показником урожайності зерна сої. Результати досліджень показують, що обробка насіння збільшує кількість гілок на рослині (рис. 3).

У середньому 3,11 гілки на кущ формувалося у варіанті без передпосівної обробки насіння. Варіанти, де рослини були оброблені ризогуміном (2 кг/т), мали в середньому на 20,3% більше гілок, ніж контрольні показники. У варіантах, оброблених біоглобіном (1,0 л/т), подовження цього показника було на рівні 19,6% від контролю.

Встановлено, що спільне використання біопрепаратів значно зменшувало утворення гілок порівняно з використанням кожного з них окремо. Так, у випадку комбінованої обробки насіння кількість гілок на рослинах збільшилася лише на 8,0% порівняно з контролем, що на 11,6–12,3% менше, ніж ефект від стимуляції або інокуляції сої.

Серед морфологічних ознак куща найбільший вплив на загальну продуктивність має площа листової поверхні рослин. Згідно з результатами досліджень, облиственість куща в досліді залежала від схеми застосування передпосівної обробки та фази розвитку рослин (табл. 3).

У контрольному варіанті в період цвітіння було сформовано 502 см² листків. Обробка насіння ризогуміном (2 кг/т) збільшила площу листків на 74 см² (14,7%). Стимулятор росту біоглобін (1,0 л/т) призвів до збільшення асимільованої площі на 629 см², що на 25% вище за контроль.

Позакореневе утворення рослин за використання обробленого насіння в поєднанні з біопрепаратами було на 7,8% вищим за контроль, хоча і нижчим за показник для кожного з препаратів окремо. З огляду на кількість рослин на момент збору даних загальна асиміляційна поверхня посіву розподілилася таким чином: мінімальна – 30,8 тис. м²/га, з незначною різницею (3,6%) на рівні 36–37,5 тис. м²/га, у варіантах з обробкою ризогуміном (2 кг/т) або біоглобіном (1,0 л/т). При цьому перевагу мали варіанти зі стимуляторами росту. Сумісне застосування препаратів дало змогу сформувати 34,0 тис. м²/га, що на 9% більше, ніж у контролі та на 10% менше, ніж у варіанті з біоглобіном. У період наливу бобів асимільована площа зменшується, оскільки рослина вступає в генеративну фазу і нижні листки починають відмирати, а рослинний

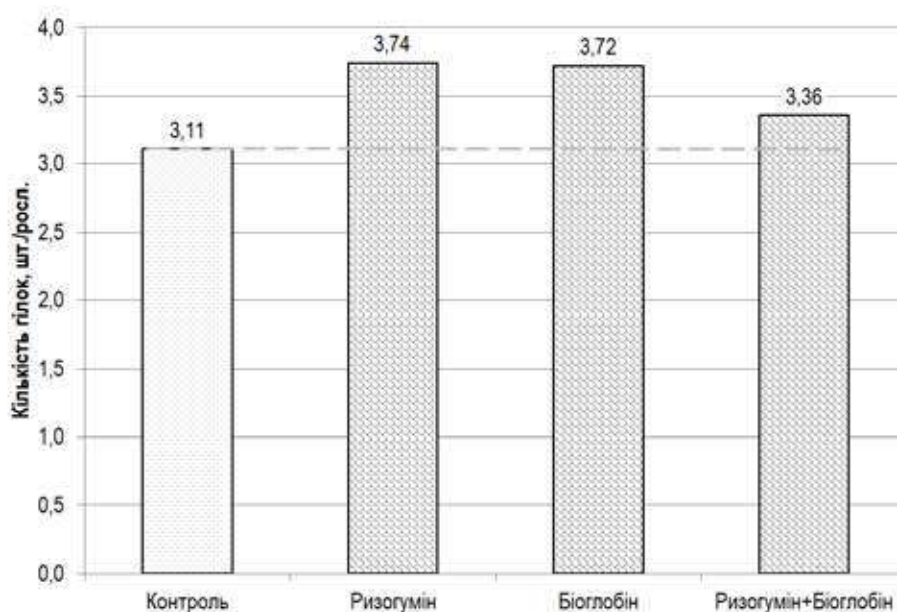


Рис. 3. Формування гілок в кущі сої (2023–2024 рр.)

Таблиця 3

Площа листової поверхні рослин та посівів сої (2023–2024 рр.)

Варіанти	Фази росту і розвитку рослин			
	цвітіння		налив бобів	
	см ² /рослин	тис. м ² /га	см ² /рослин	тис. м ² /га
контроль	502,3	30,8	476,9	29,3
ризогумін	575,9	36,1	537,6	33,7
біоглобін	628,9	37,4	550,3	32,8
ризогумін + біоглобін	541,5	34,0	487,9	30,6
НІР ₀₅		1,83		1,52

організм припиняє ріст. Темпи зменшення листового апарату рослинного організму показано на рисунку 4.

Згідно з результатами дослідження, найвищий показник відмирання листової поверхні спостерігався у варіанті з біоглобіном (1,0 л/т). Показник зниження становив 12,5%. Таким чином, у фазі наливу площа листової поверхні на одній рослині становила 550,3 см², що на 2,3% менше, ніж на рослині інокульованих сортів (537,6 см²). Ця різниця була в межах похибки експерименту. Також спостерігалось значне зменшення площі листової поверхні (9,9%) у варіантах, які сумісно оброблялися препаратами.

Ці показники призвели до незначного перевищення площі листової поверхні над контролем (2,3%). Загальна площа листової поверхні під час фази наливу бобів була подібною до швидкості редукції листової поверхні рослин (рис. 5).

У фізичному вираженні ці показники були вищими на контролі – 29,3 та 30,6 тис. м²/

га, у варіантах із сумісним застосуванням препаратів – 33,7 та 32,8 тис. м²/га, а також у варіантах з обробкою насіння ризогуміном і біоглобіном відповідно. Відмінності між сортами в цих групах були несуттєвими.

Так, використання біоглобіну (1,0 л/т) у передпосівній обробці насіння дало змогу рослинам цього варіанта сформувати значну площу листового апарату на рослині, але ця перевага не була наявна під час підрахунку загальної площі листків на гектарі посіву порівняно із застосуванням ризогуміну. Зменшення асимільованої площі спостерігалось в період наливу зерна порівняно з періодом цвітіння. Індекс трансформації за окремого застосування ризогуміну та біоглобіну був у середньому на 14% вищим за контроль. Сумісне застосування препаратів не виявило суттєвих відмінностей у формуванні листових органів порівняно з контролем.

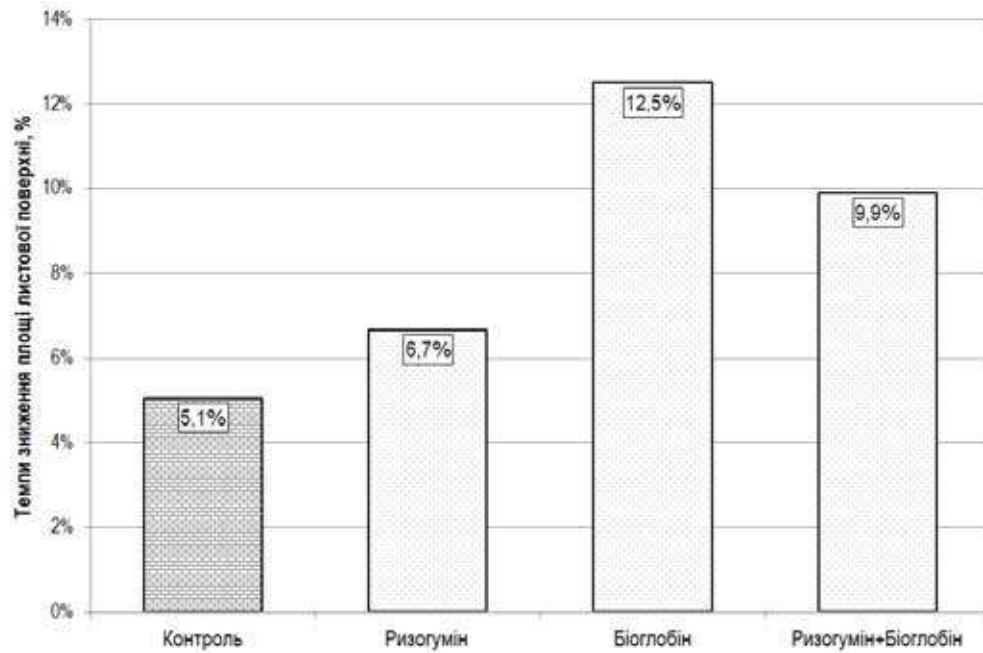


Рис. 4. Динаміка відмирання листового апарату на час генеративного розвитку рослин сої (2023–2024 рр.)

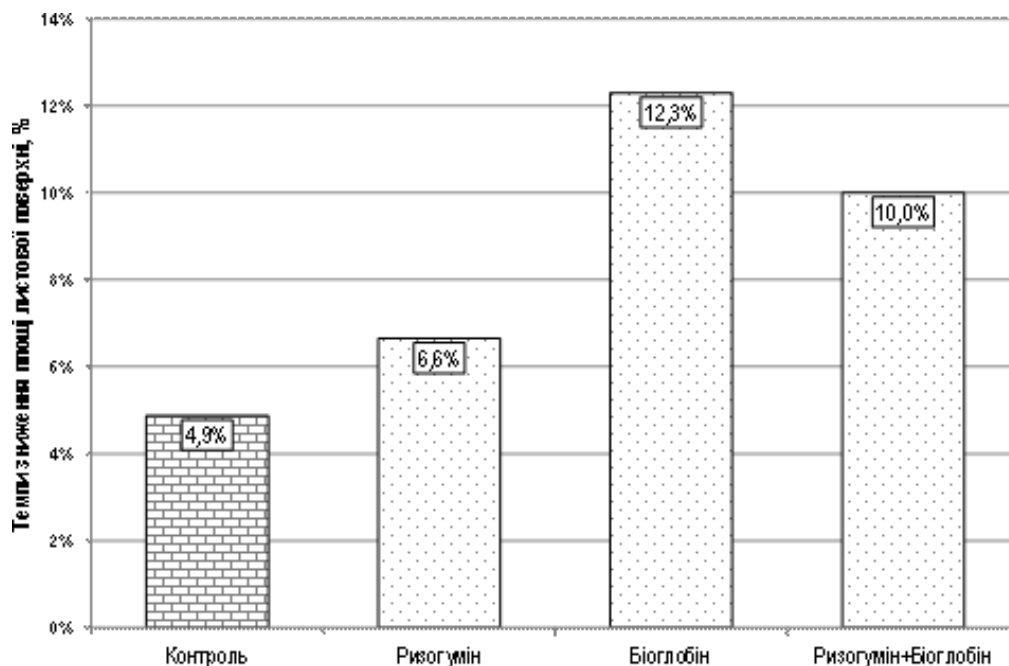


Рис. 5. Динаміка зменшення асиміляційної поверхні листового апарату в посівах сої з початком генеративного розвитку рослин (2023–2024 рр.)

Висновки

Відповідно до основної мети дослідження в цій роботі розглянуто формування біометричних параметрів куща в динаміці розвитку генеративних органів у контексті продуктивної структури, що зумовлено схемою передпосівної обробки насіння. Встановлено

істотну реакцію рослин сорту сої Сіверка на передпосівну обробку насіння інокулянтном ризогуміном (2 кг/т) та стимулятором росту біоглобіном (1,0 л/т). Окреме застосування біопрепаратів збільшувало параметри куща порівняно з контролем (виняток – початковий ріст рослин у варіанті з біоглобіном).

Список використаної літератури

- Бутенко А.О., Масик І.М., Собко М.Г., Тихонова О.М. Формування врожайності сортів сої різних груп стиглості залежно від строків сівби та ширини міжрядь. *Зрошуване землеробство*. 2020. № 74. С. 73–83.
- Вишнівський П.С., Фурман О.В. Продуктивність сої залежно від елементів технології вирощування в умовах правобережного Лісостепу України. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2020. № 11 (1). С. 13–22. <http://dx.doi.org/10.31548/agr2020.01.013>.
- Волкодав В.В. Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур (зернові, круп'яні та зернобобові культури). Київ, 2001. 69 с.
- Дмитрук Я.І., Гавій В.М. Вплив препаратів агат та фітоспорин на окремі показники структури врожаю сої культурної у фазі дозрівання плодів. *III Міжн. наук.-практ. конференція «Сучасні проблеми природничих наук: теорія, практика, освітні новації» (до 85-річчя природничо-географічного факультету) : матеріали доповідей*. Ніжин : НДУ імені Миколи Гоголя, 2018. С. 61.
- Заболотний Г.М., Мазур В.А., Циганська О.І., Дідур І.М., Циганський В.І., Панцирева Г.В. Агробіологічні основи вирощування сої та шляхи максимальної реалізації її продуктивності : монографія. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2021. 276 с.
- Нагорний В.І., Мурач О.М. Вплив азотфіксуючого препарату, стимулятора росту і молібдену на продуктивність сої в північно-східному Лісостепу України. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*. 2011. № 4. С. 77–81.
- Царенко О.М., Злобін Ю.А., Скляр В.Г., Панченко С.М. Комп'ютерні методи в агрономії та с.-г. біології. *Суми : Університетська книга*, 2000. 203 с.
- Циганська О.І. Вплив мінеральних добрив та біопрепарату на ріст та розвиток рослин сої. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2021. № 6 (94). С. 22–34.
- Шарубін І.О., Нагорний В.І. Перспективи і напрями збільшення виробництва сої в північно-східному Лісостепу України. *Насінництво*. 2012. № 1. С. 8–10.
- Шевніков М.Я., Галич О.П., Лотиш І.І., Міленко О.Г. Деякі параметри господарки цінних ознак сорту сої для умов Лівобережного Лісостепу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2015. № 3. С. 40–43.
- Didur I.M., Tsyhanskyi V.I., Tsyhanska O.I., Malynka L.V., Butenko A.O., Klochkova T.I. The effect of fertilizer system on soybean productivity in the conditions of right bank forest-steppe. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. 9 (1). P. 76–80.
- Heatherly L.G., Spurlock R.S., Reddy N.K. Influence of early-season nitrogen and weed management on irrigated and nonirrigated glyphosate-resistant and susceptible soybean. *Agron. J.* 2003. № 95. P. 446–453. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.0446>.
- Kots S.Ya., Kyrchenko O.V., Pavlyshchenko A.V., Yakymchuk R.A. Formation of soybean productivity by early treatment of seeds with fungicides Standak Top and Fever and inoculation with rhizobias on the day of sowing. *Agricultural Microbiology*. 2021. No. 34. P. 29–43. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.34.29-43>.
- Zhou C., Liu C., Liang Y., Liu Z., Wei P., Wang X.J.M.L. Application of natural weathered red-bed soil for effective wall protection filter-cake formation. *Mater. Lett.* 2020. No. 258. 126679. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.126679>.

References

- Butenko, A.O., Masyk, I.M., Sobko, M.H., & Tykhonova, O.M. (2020). Formuvannya vrozhaynosti sortiv soyi riznykh hrup styhlosti zalezchno vid strokiv sivby ta shyryny mizhryad [Yield formation of soybean varieties of different maturity groups depending on sowing dates and row spacing. Interdepartmental thematic scientific collection Irrigated agriculture]. *Zroshuvane zemlerobstvo [Irrigated agriculture]*, 74, 73–83 [in Ukrainian].
- Vyshnivskiy, P.S., & Furman, O.V. (2020). Produktivnist soi zalezchno vid elementiv tekhnolohii vyroshchuvannya v umovakh pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Soybean productivity depending on the elements of growing technology in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Roslynnystvo ta gruntознаvstvo [Plant science and soil science]*, 11 (1), 13–22. <http://doi.org/10.31548/agr2020.01.013> [in Ukrainian].
- Volkodav, V.V. (2001). Metodyka derzhavnoho sortovyprobuvannya silskohospodarskykh kultur (zernovi, krupiani ta zernobobovi kultury) [Methodology of state variety testing of agricultural crops (cereals, cereals and legumes)]. Kyiv, 69 [in Ukrainian].

- Dmytruk, Ya.I., Havii, & V.M. (2018). Vplyv preparativ ahata ta fitosporyn na okremi pokaznyky struktury vrozhaiv soi kulturnoi u fazi dozrivannia plodiv [The effect of the preparations Agat and Phytosporin on individual indicators of the yield structure of cultivated soybeans in the fruit ripening phase]. *III Mizhn. nauk.-prakt. konferentsiia "Suchasni problemy pryrodnych nauk: teoriia, praktyka, osvichni novatsii" (do 85-richchia pryrodnycho-heohrafichnoho fakultetu): materialy dopovidei*. Nizhyn: NDU imeni Mykoly Hoholia [III International Scientific-Practical Conference "Current Problems of Natural Sciences: Theory, Practice, Educational Innovations" (to the 85th anniversary of the Faculty of Natural Sciences and Geography): Materials of the conference. Nizhyn: NDU named after Mykola Khoholia], 61 [in Ukrainian].
- Zabolotnyi, H.M., Mazur, V.A., Tsyhanska, O.I., Didur, I.M., Tsyhanskyi, V.I., & Pantsyryeva, H.V. (2021). Ahrobiolohichni osnovy vyroshchuvannia soi ta shliakhy maksymalnoi realizatsii yii produktyvnosti: monohrafiia [Agrobiological foundations of soybean cultivation and ways to maximize its productivity: monograph]. Vinnytsia: TOV "TVORY", 276 [in Ukrainian].
- Nahornyi, V.I., & Murach, O.M. (2011). Vplyv azotfiksuiochoho preparatu, stymuliatoru rostu i molibdenu na produktyvnist soi v pivnichno-skhidnomu Lisostepu Ukrainy [The effect of nitrogen-fixing drug, growth stimulant and molybdenum on soybean productivity in the northeastern Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriiia "Ahronomiia i biolohiia"* [Bulletin of the Sumy National Agricultural University. Series "Agronomy and Biology"], 4, 77–81 [in Ukrainian].
- Tsarenko, O.M., Zlobin, Yu.A., Skliar, V.H., & Panchenko, S.M. (2000). Kompiuterni metody v silskomu hospodarstvi ta biolohii: Navchalnyi posibnyk [Computer methods in agriculture and biology: Training manual]. *Universytetska knyha [University book]*. Sumy, 203 [in Ukrainian].
- Tsyhanska, O.I. (2021). Vplyv mineralnykh dobryv ta biopreparatu na rist ta rozvytok roslyn soi [The effect of mineral fertilizers and biological products on the growth and development of soybean plants]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy [Scientific advice from NUBiP of Ukraine]*, 6 (94), 22–34 [in Ukrainian].
- Sharubin, I.O., & Nahornyy, V.I. (2012). Perspektyvy i napryamy zbil'shennya vyrobnytstva soyi v pivnichno-skhidnomu Lisostepu Ukrayiny. [Prospects and directions of increasing soybean production in the north-eastern forest-steppe of Ukraine]. *Nasinnytstvo [Seed production]*, 1, 8–10 [in Ukrainian].
- Shevnikov, M.Ia., Halych, O.P., Lotysh, I.I., & Milenko, O.H. (2015). Deiaki parametry hospodarky tsinnykh oznak sortu soi dlia umov Livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Some parameters of the management of valuable traits of soybean varieties for the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk PDAA [Herald PSAA]*, 3, 40–43 [in Ukrainian].
- Didur, I.M., Tsyhanskyi, V.I., Tsyhanska, O.I., Malynka, L.V., Butenko, A.O., & Klochkova, T. I. (2019). The effect of fertilizer system on soybean productivity in the conditions of right bank forest-steppe. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9 (1), 76–80 [in English].
- Heatherly, L.G., Spurlock, R.S., & Reddy, N.K. (2003). Influence of early-season nitrogen and weed management on irrigated and nonirrigated glyphosate-resistant and susceptible soybean. *Agron. J.*, 95, 446–453. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.0446> [in English].
- Kots, S.Ya., Kyrychenko, O.V., Pavlyshchenko, A.V., & Yakymchuk, R.A. (2021). Formation of soybean productivity by early treatment of seeds with fungicides Standak Top and Fever and inoculation with rhizobias on the day of sowing. *Agricultural Microbiology*, 34, 29–43. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.34.29-43> [in English].
- Zhou, C., Liu, C., Liang, Y., Liu, Z., Wei, P., & Wang, X.J.M.L. (2020). Application of natural weathered red-bed soil for effective wall protection filter-cake formation. *Mater. Lett.*, 258, 126679. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.126679> [in English].

Отримано: 27.01.2025
Прийнято: 10.02.2025



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 11
Український журнал природничих наук
№ 11

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

УДК 635.21

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.14>

ВПЛИВ УДОБРЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ РІЗНИХ СОРТІВ БУЛЬБ КАРТОПЛІ В УМОВАХ ПЕРЕДКАРПАТТЯ

У. М. Карбівська¹, П. М. Дмитрик², В. В. Клід³, О. Д. Турак⁴, А. В. Карбівський⁵

У статті представлено результати дослідження продуктивності картоплі в умовах Передкарпаття. Дослідження проводилося на базі фермерського господарства «ЖИВА ЗЕМЛЯ», що розташоване в селі Закрівці Коломийського району Івано-Франківської області, упродовж 2023–2024 років у короткотривалій сівозміні. Господарство відзначається сприятливими природними умовами для вирощування різних сільськогосподарських культур, особливо зернових. У дослідженнях використовували польовий, лабораторний, математичний, статистичний і розрахунковий методи.

У дослідженні висвітлено вплив мінерального удобрення на продуктивність різних сортів картоплі в умовах Передкарпаття. Досліджували такі сорти, як Тирас, Княгиня та Житниця, із застосуванням різних систем удобрення: без добрив (контроль), розкидним внесенням $N_{90}P_{90}K_{90}$, локальним внесенням $N_{45}P_{45}K_{45}$ і препаратом Блек-Джек. Встановлено, що внесення добрив позитивно впливає на збільшення загальної маси бульб, маси стандартних бульб, кількості бульб на

¹ доктор сільськогосподарських наук, професор,
професор кафедри лісового і аграрного менеджменту
(Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ)
e-mail: uliana.karbivska@pnu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-0540-8887

² кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри лісового і аграрного менеджменту
(Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ)
e-mail: pavlo.dmytryk@pnu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-1973-391X

³ кандидат біологічних наук,
завідувач кафедри лісового і аграрного менеджменту
(Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ)
e-mail: viktor.klid@pnu.edu.ua
ORCID: 0009-0007-8310-433X

⁴ викладач кафедри лісового і аграрного менеджменту
(Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ)
e-mail: oksana.turak@pnu.edu.ua
ORCID: 0009-0008-3956-9399

⁵ студент 3 курсу спеціальність 201 Агрономія кафедри лісового і аграрного менеджменту
(Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ)
e-mail: anton.karbivskyi.22@pnu.edu.ua
ORCID: 0009-0007-6908-5435

кущ та середньої маси бульб. Найвищі показники продуктивності отримані в результаті застосування препарату Блек-Джек, що підтверджує доцільність його застосування в умовах регіону. Виявлено, що найвищу врожайність (24,4 т/га) товарних бульб картоплі отримано за вирощування сорту Житниця і локального внесення мінеральних добрив у нормі $N_{45}P_{45}K_{45}$. У разі внесення добрив $N_{90}P_{90}K_{90}$ врожай і застосування Блек-Джеку врожайність цього сорту становила 23,8 і 23,9 т/га відповідно, тоді як на контролі – 19,4 т/га. У сорту Тирас загальна маса бульб у контролі становила 517,8 г, з яких 402,3 г – стандартні, а середня маса однієї бульби досягала 63,4 г. Застосування добрив $N_{90}P_{90}K_{90}$ врожай сприяло незначному підвищенню врожайності (до 529,4 г), а середня маса бульби зросла до 64,7 г. Локальне внесення $N_{45}P_{45}K_{45}$ забезпечило підвищення загальної маси бульб до 589,6 г, а середньої маси – до 71,3 г. Найвищий урожай зафіксовано за умови застосування Блек-Джеку – 616,3 г, з яких 540,3 г становили стандартні бульби, а середня маса досягла 73,9 г.

Ключові слова: картопля, сорти, удобрення, урожайність, Передкарпаття.

THE IMPACT OF FERTILIZATION ON THE PRODUCTIVITY OF DIFFERENT POTATO TUBER VARIETIES UNDER PRE-CARPATHIAN CONDITIONS

U. M. Karbivska, P. M. Dmytryk, V. V. Klid, O. D. Turak, A. V. Karbivskyi

The article presents the results of a study on potato productivity in the Pre-Carpathian region. The research was conducted at the "ZhYVA ZEMLYA" farming enterprise during 2023–2024 within a short-rotation crop rotation system located in the village of Zakrivtsi, Kolomyia district, Ivano-Frankivsk region. The farm benefits from favorable natural conditions for growing various agricultural crops, particularly grain crops. The study employed field, laboratory, mathematical, statistical, and computational methods. The research examines the impact of mineral fertilizers on the productivity of different potato varieties under Pre-Carpathian conditions. The study focused on the Tyras, Knyahynya, and Zhytnytsia varieties, applying different fertilization systems: no fertilizers (control), broadcast application of $N_{90}P_{90}K_{90}$, localized application of $N_{45}P_{45}K_{45}$, and the Black Jack fertilizer. The results demonstrated that fertilization positively influences the total tuber mass, standard tuber mass, the number of tubers per plant, and the average tuber weight. The highest productivity levels were achieved with the Black Jack treatment, confirming its effectiveness in regional cultivation conditions. It was determined that the highest marketable tuber yield was obtained for the Zhytnytsia variety with localized application of $N_{45}P_{45}K_{45}$, reaching 24,4 t/ha. When applying $N_{90}P_{90}K_{90}$ broadcast and Black Jack, the yield for this variety was 23,8 t/ha and 23,9 t/ha, respectively, while in the control group, it was only 19,4 t/ha. For the Tyras variety, the total tuber mass in the control was 517,8 g, of which 402,3 g were standard tubers, with an average tuber mass of 63,4 g. The broadcast application of $N_{90}P_{90}K_{90}$ resulted in a slight yield increase to 529,4 g, with an average tuber mass of 64,7 g. Localized application of $N_{45}P_{45}K_{45}$ increased the total tuber mass to 589,6 g and the average tuber mass to 71,3 g. The highest yield was recorded with Black Jack application – 616,3 g, of which 540,3 g were standard tubers, with an average tuber mass of 73,9 g.

Key words: potato, varieties, fertilization, yield, Pre-Carpathian region.

Вступ

Вирощування картоплі в Україні має велике значення для продовольчої безпеки, зміцнення економіки та створення робочих місць у сільському господарстві. Ця культура охоплює велику площу, а її виробництво – усю країну. Підвищення врожайності та покращення якості бульб картоплі значною мірою залежать від вибору сортів, адаптованих до конкретних умов вирощування (Лебідь і Шевченко, 2008). З огляду на важливу роль сортів у стабільному зростанні врожайності та загального обсягу врожаю вимоги до них

постійно зростають. Кожен сорт є унікальною біологічною системою, що не має еквівалентів. Саме тому вибір сортів, здатних адаптуватися до конкретних умов вирощування та володіти відповідним генотипом, відіграє вирішальну роль у підвищенні врожайності картоплі (М'яковський та ін., 2019).

А.А. Осипчук зазначає, що нові сорти картоплі, розроблені Інститутом картоплярства НААНУ, забезпечують збільшення врожайності бульб на 25–30% (Осипчук, 2004). Дослідження В.В. Гамаюнової й О.Ш. Іскакової (Гамаюнова і Іскакова,

2015) свідчать про вплив умов південної зони Степу України на вміст сухих речовин у бульбах картоплі за літнього строку садіння. Так, без додаткового внесення добрив цей показник у ранньостиглого сорту Тирас становив 18,2%, у середньораннього сорту Забава – 18,6%, а в середньостиглого сорту Слов'янка – 19,1%. Водночас застосування добрив у нормі $N_{90}P_{90}K_{90}$ сприяло підвищенню вмісту сухої речовини до 20,7, 20,2 і 21,0% відповідно.

Картопля потребує ретельного забезпечення поживними елементами, оскільки її вирощування вимагає особливої уваги до живлення рослин. Раціональне застосування добрив сприяє насиченню рослин необхідними речовинами, що забезпечує їхній оптимальний ріст, розвиток і формування бульб (Jambhulkar et al., 2018).

Важливим чинником є врахування специфічних потреб кожного сорту картоплі та місцевих умов вирощування. Регулярний моніторинг стану рослин дозволяє своєчасно визначати потребу в окремих поживних речовинах і коригувати схему удобрення. Оптимальне мінеральне живлення картоплі має бути забезпечене на всіх етапах розвитку – від проростання бульб до завершення вегетації. Досягти цього можна використанням ефективних агротехнічних заходів, зокрема й завдяки правильному дозуванню добрив, збалансованому підбору елементів живлення та застосування різних методів внесення (Gilardi & Manker, 2008; Swalina-Ambroziak et al., 2015).

Для формування врожаю картоплі необхідна значна кількість поживних елементів, що залежить від сорту, погодних умов, площі удобрення та рівня забезпеченості ґрунту доступними речовинами (Бондарчук, 2009; Коваль і Ільчук, 2019).

Система удобрення має бути спрямована на забезпечення рослин оптимальним мінеральним живленням від проростання бульб до завершення вегетації. Досягти цього можна шляхом оптимізації норм добрив, збалансованого співвідношення елементів живлення, а також вибору ефективних методів і способів їх внесення (Бондарчук та ін., 2007; Сидорчук і Каліцький, 2009). Контроль за правильним дозуванням добрив і їх внесенням на різних етапах росту картоплі сприяє підвищенню врожайності та покращенню якості бульб (Барабаш, 2002; Makhoulouf, 2015).

Метою роботи було визначення продуктивності картоплі різних сортів в умовах Прикарпаття.

Матеріал і методи

Дослідження впливу удобрення на продуктивність сортів картоплі проводились у фермерському господарстві «ЖИВА ЗЕМЛЯ» упродовж 2023–2024 рр. у короткоротаційній сівозміні. Ґрунт дослідної ділянки представлений темно-сірим опідзоленим важкосуглинковим ґрунтом з такими показниками, як: кислотність (pH) – 4,9; вміст гумусу в шарі ґрунту 0–20 см (за Тюрнімом) – 2,76%; забезпеченість основними елементами живлення: азот – 87 мг/кг, рухомий фосфор (за Чириковим) – 84 мг/кг, обмінний калій (за Чириковим) – 108,0 мг/кг.

Досліджували районовані сорти картоплі селекції Інституту картоплярства НААН України, зокрема: ранньостиглий сорт Тирас, середньоранній сорт Житниця та середньостиглий сорт Княгиня. Схема дослідження включала такі варіанти:

1. Контроль (без добрив).
2. Вроздак у нормі $N_{90}P_{90}K_{90}$.
3. Локальне внесення $N_{45}P_{45}K_{45}$.
4. Застосування біостимулятора Блек-Джек.

Дослід проводили із чотирикратним повторенням. Площа посадкової ділянки становила 10 м², а облікової – 5 м². Мінеральні добрива вносили у складі аміачної селітри (34% N), гранульованого суперфосфату (18% P₂O₅) та калімагнезії (28% K₂O) відповідно до схеми дослідження. Біостимулятор Блек-Джек вносили на рослини картоплі у фазі бутонізації. Технологія вирощування картоплі була загальноприйнятою для зони Передкарпаття. Попередник – пшениця.

У період проведення досліджень кількість опадів відхилялася від середніх багаторічних показників. Кліматичні умови 2023 р. були більш сприятливим для розвитку культури: середня температура протягом вегетаційного періоду (травень – серпень) варіювала від +14 °C у травні до +21,1 °C у серпні, що створювало стабільні умови для росту рослин. У 2023 р. спостерігалася підвищена кількість опадів, яка перевищила середньобагаторічну норму, особливо в червні (174,5 мм) та липні (152 мм), що позитивно вплинуло на розвиток культури. У 2024 р. кількість опадів була нижчою за норму.

Результати

Проведенням аналізу густоти рослин встановлено, що в період бутонізації-цвітіння вона варіювала від 65 шт. у сорту Житниця (контроль) до 75 шт. у рядку сорту Тирас за внесення препарату Блек-Джек. Кількість стебел у кущі також варі-

ювала залежно від сорту й удобрення, становила від 2,5 до 3,6 шт. Під час збирання бульб найвищі кущі (58 см) були зафіксовані в сорту Княгиня за внесення препарату Блек-Джек, найнижчі (53 см) – у сорту Тирас за аналогічних умов.

Визначено, що густота стеблостою має значний вплив на формування врожаю бульб картоплі, найвищий показник густоти стеблостою зафіксовано в сорту Княгиня – 3,7 шт. Встановлено, що на контролі висота головного стебла рослин найбільшою була в середньостиглого сорту Княгиня, що на 1 см вище від ранньостиглого сорту Тирас і на 2 см у середньораннього сорту Житниця. Внесення мінеральних добрив позитивно впливало на ріст рослин картоплі всіх сортів стиглості. Застосування добрив сприяло збільшенню висоти рослин порівняно з контролем на 4–9 см. Кількість паростків бульб і стебел у кущі залежала від сортових особливостей.

Дослідження підтвердили, що найвища врожайність товарних бульб картоплі (24,4 т/га) отримана в разі локального внесення мінеральних добрив ($N_{45}P_{45}K_{45}$) для сорту Житниця (рис. 1).

Внесення добрив у розкид у нормі $N_{90}P_{90}K_{90}$ та використання препарату Блек-Джек забезпечили врожайність на рівні 23,7 і 23,8 т/га відповідно, тоді як на контролі цей показник становив 19,5 т/га. У сорту Житниця приріст урожаю порівняно з контролем становив 4,5 т/га за внесення мінеральних добрив, 4,6 т/га – за умови застосування Блек-Джеку,

5,1 т/га – за локального внесення добрив у нормі $N_{45}P_{45}K_{45}$. Найнижча врожайність зафіксована в ранньостиглого сорту Тирас, де на контролі вона становила 17,6 т/га. Застосування добрив сприяло її підвищенню на 20,9% за локального внесення $N_{45}P_{45}K_{45}$. Загальна маса бульб з одного куща варіювала від 439,8 г у сорту Житниця (контроль) до 616,3 г у сорту Тирас за внесення Блек-Джеку (рис. 2).

Маса стандартних бульб з одного куща становила від 332,1 до 540,3 г. (рис. 3).

Кількість бульб у кущі варіювала від 5,8 до 7,4 шт., а їх середня маса – від 59,3 до 73,9 г. (рис. 4).

Обговорення

Сорт Княгиня демонструє дещо нижчі результати порівняно із сортом Тирас, але перевершує сорт Житниця. Найменша врожайність спостерігалась у сорту Житниця, особливо на контролі (439,8 г).

У сорту Тирас на контролі загальна маса бульб становила 517,8 г, із яких 402,3 г стандартних, середня маса однієї бульби – 63,4 г. Внесення добрив у розкид у нормі $N_{90}P_{90}K_{90}$ дещо підвищило врожайність (529,4 г загальної маси), середня маса бульби зросла до 64,7 г. Локальне внесення добрив у нормі $N_{45}P_{45}K_{45}$ забезпечило найкращий ефект серед усіх варіантів – загальна маса бульб зросла до 589,6 г, а середня маса однієї бульби становила 71,3 г.

Висновки

Установлено, що найвищу врожайність товарних бульб картоплі сорту Житниця – 24,4 т/га – отримано за локального вне-

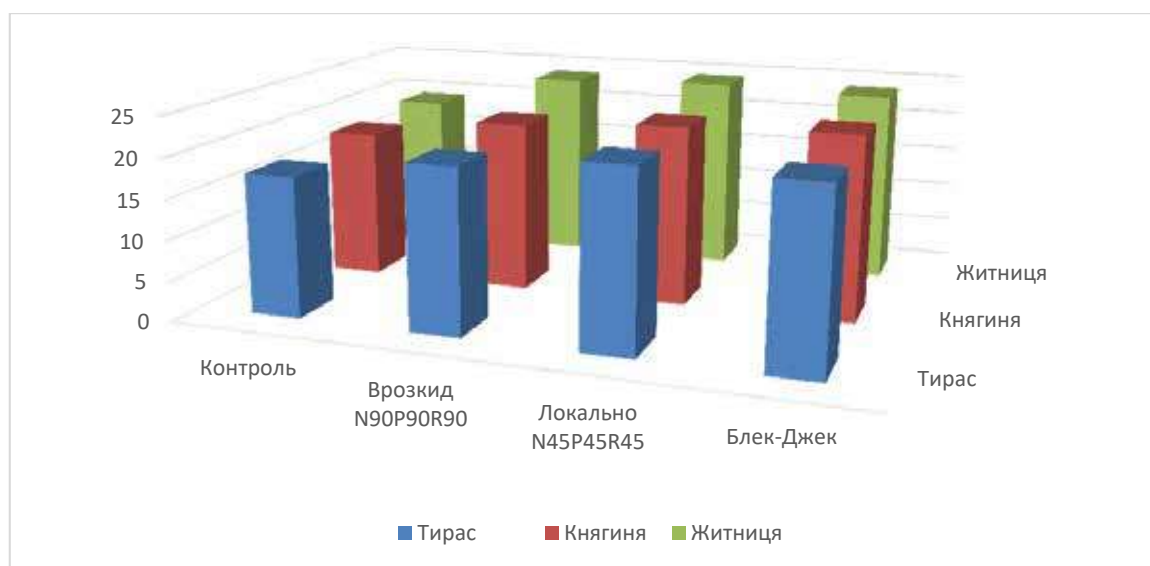


Рис. 1. Вплив удобрення на врожайність товарних бульб картоплі

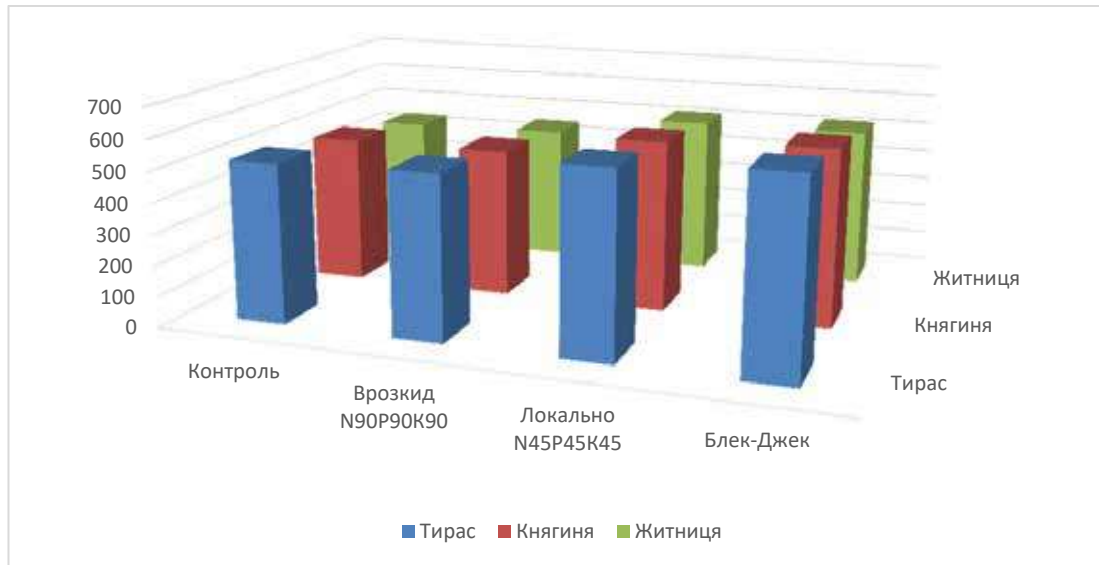


Рис. 2. Загальна маса бульб з куца, г (у середньому за два роки)

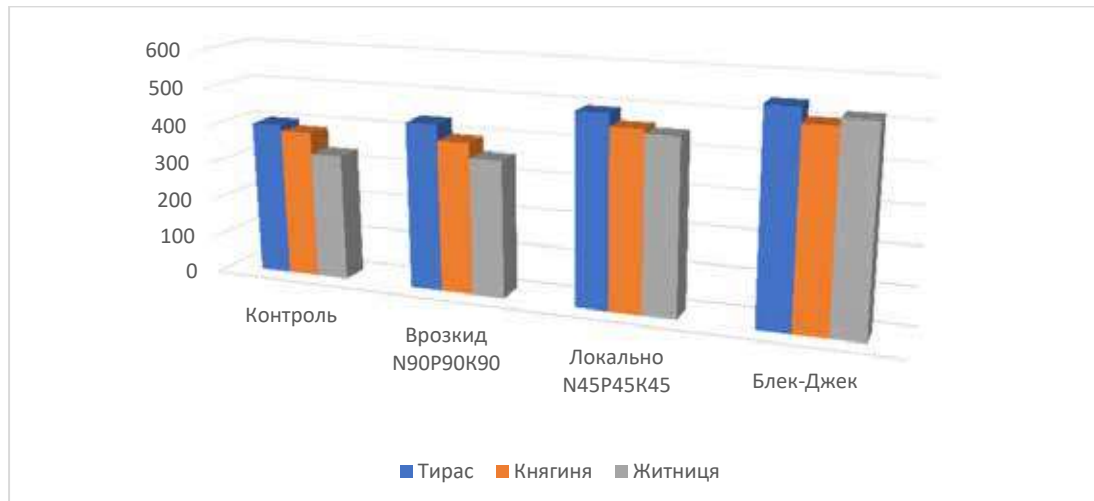


Рис. 3. Маса стандартних бульб із куца, г (у середньому за два роки)

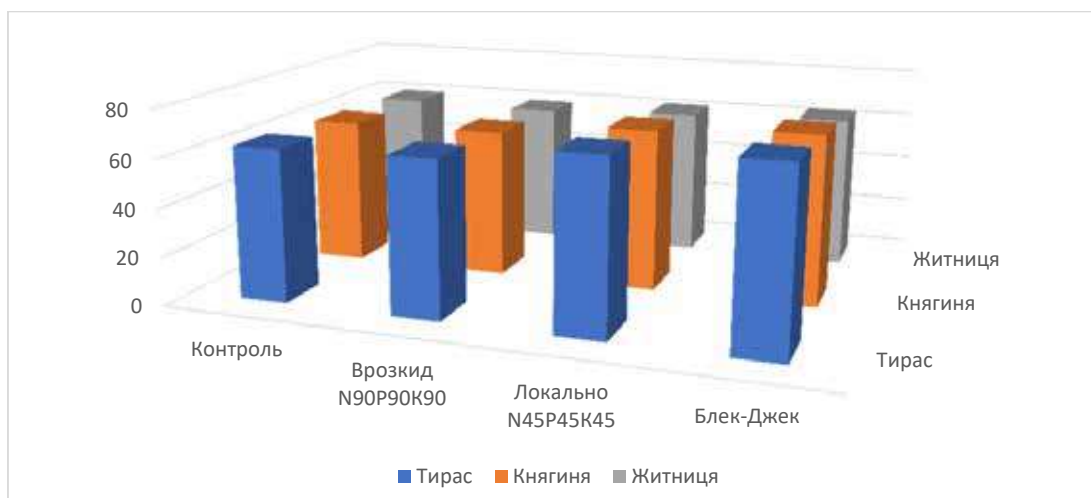


Рис. 4. Середня маса бульб, г (у середньому за два роки)

сення мінеральних добрив у нормі $N_{45}P_{45}K_{45}$. За умови внесення добрив $N_{90}P_{90}K_{90}$ врожайність цього сорту становила 23,8 і 23,9 т/га відповідно, тоді як на контролі – 19,4 т/га.

Рекомендуємо в умовах Передкарпаття на темно-сірому ґрунті вирощувати такі сорти картоплі: середньостиглий Княгиня, середньоранній Житниця та ранньостиглий Тирас, за локального внесення мінеральних добрив у нормі $N_{45}P_{45}K_{45}$.

Список використаної літератури

- Барабаш О.Ю. Структурно-логічна схема сучасного овочівництва і його завдання в Україні. *Науковий вісник Національного авіаційного університету*. 2002. № 57. С. 17–20.
- Бондарчук А.А. Перспективи розвитку картоплярства в Україні. *Вісник аграрної науки*. 2009. № 4. С. 21–23.
- Бондарчук А.А., Каліцький П.Ф., Мороз І.Х. Проблеми технології виробництва картоплі в Україні. *Картоплярство України*. 2007. № 2 (7). С. 4–7.
- Гамаюнова В.В., Іскакова О.Ш. Вплив добрив та регуляторів росту на врожайність і якість бульб картоплі літнього садіння на Півдні України. *Сільське господарство та лісівництво*. 2015. № 1. С. 29–36.
- Коваль А.В., Ільчук Р.В. Вплив макро- та мікроелементів на продуктивність картоплі та інших сільськогосподарських культур. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2019. Вип. 66. С. 103–116.
- Лебідь Є.М., Шевченко М.С. Наукові основи підвищення ефективності виробництва зерна в Україні. *Бюлетень Інституту зернового господарства*. Дніпропетровськ : Інститут зернового господарства, 2008. № 33–34. С. 3–7.
- М'яковський Р.О., Овчарук В.І., Безвіконний П.В., Кравченко В.С. Оцінювання якості бульб картоплі сортів різної стиглості залежно від умов вирощування. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2019. Вип. 94. Ч. 1. С. 274–284.
- Осипчук А.А. Актуальні питання селекції картоплі. *Картоплярство*. Київ : Урожай, 2004. Вип. 33. С. 27–32.
- Сидорчук А.А., Каліцький П.Ф. Ефективність строків внесення нових добрив при позакореневому підживленні рослин картоплі. *Картоплярство*. 2009. Вип. 38. С. 145–151.
- Cwalina-Ambroziak B., Damszel M.-M., Gosek-Sobieraj M. The effect of biological and chemical control agents on the health status of the very early potato cultivar Rosara. *J. of Plant Protection Research*. 2015. V. 55 (4). P. 389–395. <https://doi.org/10.1515/jppr-2015-0052>.
- Gilardi G., Manker D. Efficacy of the biocontrol agents *Bacillus subtilis* and *Ampelomyces quisqualis* applied in combination with fungicides against powdery mildew of zucchini. *J. Plant Diseases and Prot.* 2008. V. 115. № 5. P. 208–213.
- Jambhulkar P.P., Sharma P., Manokaran R. et al. Assessing synergism of combined applications of *Trichoderma harzianum* and *Pseudomonas fluorescens* to control blast and bacterial leaf blight of rice. *European J. of Plant Pathology*. 2018. V. 152. P. 747–757. <https://doi.org/10.1007/s10658-018-1519-3>.
- Makhlouf A. Biological Control of Brown Rot Disease of Potato. Lap Lambert. *Academic Publishing*. 2015. № 01: 15. P. 152.

References

- Barabash, O.Yu. (2002). Strukturno-lohichna skhema suchasnoho ovochivnystva i yoho zavdania v Ukraini [Structural and logical scheme of modern vegetable growing and its tasks in Ukraine]. *Naukovyi visnyk NAU [Scientific Bulletin of NAU]*. 57, 17–20 [in Ukrainian].
- Bondarchuk, A.A. (2009). Perspektyvy rozvytku kartopliarstva v Ukraini [Prospects for the development of potato growing in Ukraine]. *Visnyk ahrarnoi nauky [Bulletin of Agrarian Science]*. 4, 21–23 [in Ukrainian].
- Bondarchuk, A.A., Kalitskyi, P.F., Moroz, I.Kh. (2007). Problemy tekhnolohii vyrobnystva kartopli v Ukraini [Problems of potato production technology in Ukraine]. *Kartopliarstvo Ukrainy [Potato Growing of Ukraine]*. 2 (7), 4–7 [in Ukrainian].
- Hamayunova, V.V., Iskakova, O.Sh. (2015). Vplyv dobryv ta rehulatoriv rostu na vrozhaunist i yakist bulb kartopli litnoho sadinnia na Pivdni Ukrainy. [Influence of fertilizers and growth regulators on the yield and quality of summer-planted potato tubers in the South of Ukraine]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnyctvo [Agriculture and Forestry]*. 1, 29–36 [in Ukrainian].

Koval, A.V., Ilchuk, R.V. (2019). Vplyv makro- ta mikroelementiv na produktyvnist kartopli ta inshykh silskohospodarskykh kultur. [Influence of macro- and microelements on the productivity of potatoes and other agricultural crops]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnytstvo [Foothill and Mountain Agriculture and Animal Husbandry]*. 66, 103–116 [in Ukrainian].

Lebid, Ye.M., Shevchenko, M.S. (2008). Naukovi osnovy pidvyshchennia efektyvnosti vyrobnytstva zerna v Ukraini. [Scientific foundations for increasing the efficiency of grain production in Ukraine]. *Biuleten instytutu zernovoho hospodarstva. Dnipropetrovsk: Instytut zernovoho hospodarstva [Bulletin of the Institute of Grain Farming]*. Dnipropetrovsk: Institute of Grain Farming, 33–34, 3–7 [in Ukrainian].

Mialkovskiy, R.O., Ovcharuk, V.I., Bezvikonnyi, P.V., Kravchenko, V.S. (2019). Otsiniuvannia yakosti bulb kartopli sortiv riznoi styhlosti zalezno vid umov vyroshchuvannia [Evaluation of the quality of potato tubers of different ripeness depending on growing conditions]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho NUS [Collection of Scientific Papers of Uman National University of Horticulture]*, 94 (1), 274–284 [in Ukrainian].

Osypchuk, A.A. (2004). Aktualni pytannia selektsii kartopli. [Current issues in potato breeding]. *Kartopliarstvo [Potato Growing]*. Kyiv: Urozhai, 33, 27–32 [in Ukrainian].

Sydorchuk, A.A., Kalitskyi, P.F. (2009). Efektyvnist strokiv vnesennia novykh dobryv pry pozakorenevomu pidzhyvlenni roslyn kartopli [Efficiency of new fertilizers' application timing for foliar feeding of potato plants]. *Kartopliarstvo [Potato Growing]*. 38, 145–151 [in Ukrainian].

Cwalina-Ambroziak, B., Damszel, M.-M., Gosek-Sobieraj, M. (2015). The effect of biological and chemical control agents on the health status of the very early potato cultivar Rosara. *Journal of Plant Protection Research*, 55 (4), 389–395. <https://doi.org/10.1515/jppr-2015-0052> [in Poland].

Gilardi, G., Manker, D. (2008). Efficacy of the biocontrol agents *Bacillus subtilis* and *Ampelomyces quisqualis* applied in combination with fungicides against powdery mildew of zucchini. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 115 (5), 208–213.

Jambhulkar, P.P., Sharma, P., Manokaran, R., et al. (2018). Assessing synergism of combined applications of *Trichoderma harzianum* and *Pseudomonas fluorescens* to control blast and bacterial leaf blight of rice. *European Journal of Plant Pathology*, 152.

Makhlouf, A. (2015). *Biological Control of Brown Rot Disease of Potato*. Lap Lambert Academic Publishing, 152 p.

Отримано: 24.01.2025
Прийнято: 12.02.2025



УДК 631.582: [631.559:633.16]
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.15>

ЛИСТКОВА ДІАГНОСТИКА ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН СПЕЛЬТИ ОЗИМОЇ В УМОВАХ ПОЛІССЯ

О. В. Карпишин¹, В. В. Мойсієнко²

Пшениця спельта (*Triticum spelta* L.) є досить поширеною культурою в органічному землеробстві країн Європейського Союзу й України. Вона має високу якість зерна, більш придатна до органічного вирощування, ніж м'яка пшениця. У статті наведені результати функціональної листкової діагностики спельти озимої з метою оптимізації живлення рослин в умовах Полісся. Польові дослідження проводили із сортами спельти в умовах дерново-підзолистих супіщаних ґрунтів Приватного підприємства «Галекс Агро» упродовж 2021–2024 років. Уміст гумусу на дослідних ділянках становив 1,53%, рН ґрунту (сольове) – 5,3. У процесі досліджень використані методи: польовий, лабораторний і порівняльно-розрахунковий. Дослідження листя показує, чи отримують рослини оптимальний рівень необхідних поживних речовин і чи потрібні зміни в системі удобрення. Установлено, що на варіанті без добрив (2022 рік) рослини сорту спельти Зоря України мали середню нестачу калію та високу нестачу сірки, що доцільно компенсувати відповідними нормами добрив. За внесення *Physio Natur PKS 47 Bio* рослини спельти були забезпечені елементами живлення, окрім незначної нестачі цинку і кобальту, що не впливає на подальший розвиток рослин. На неудобрених ділянках рослини сорту *Attergauier Dinkel* потребували, за даними листкової діагностики, як макро-, так і мікроелементів. На варіанті з удобренням рослини були цілком забезпечені необхідними елементами живлення. Аналогічну закономірність щодо отриманих результатів листкової діагностики на неудобрених ділянках отримали впродовж 2023 року. Рослини сорту Зоря України потребували додаткового внесення 168 г/га марганцю та 140 г/га заліза. У рослин сорту *Attergauier Dinkel* спостерігали середню забезпеченість сіркою та бором і нестачу магнію, цинку, марганцю та заліза.

Ключові слова: функціональна листкова діагностика, макро- і мікроелементи, сорти спельти, удобрення, фаза виходу у трубку і поява прапорцевого листка.

¹ аспірант кафедри технологій у рослинництві
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail: karpishin_97@ukr.net
ORCID: 0009-0005-9921-3739

² доктор сільськогосподарських наук,
професор кафедри технологій у рослинництві
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail: veraprof@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8880-9864

LEAF DIAGNOSTICS FOR OPTIMIZATION OF NUTRITION OF WINTER SPELT PLANTS IN POLISSYA

O. V. Karpyshyn, V. V. Moisiienko

*Spelt wheat (*Triticum spelta* L.) is a fairly common crop in organic farming in the European Union and Ukraine. It has high grain quality and is more suitable for organic cultivation than soft wheat. The article presents the results of functional leaf diagnostics of winter spelt in order to optimize plant nutrition in Polissya. Field research was carried out with spelta varieties in the conditions of sod-podzolic sandy loam soils of Galeks Agro PE during 2021–2024. The humus content in the experimental plots was 1,53%, the soil pH (salt) was 5,3. The methods used in the research were field, laboratory and comparative-calculated. The study of leaves shows whether the plants receive the optimal level of necessary nutrients and whether changes in the fertilization system are needed. It was found that in the variant without fertilizers (2022), plants of the spelta variety Zorya Ukrayiny had a medium lack of potassium and a high lack of sulfur, which should be compensated by appropriate fertilizer rates. With the inclusion of Physio Natur PKS 47 Bio, the spelta plants were provided with nutrients, except for a slight lack of zinc and cobalt, which does not affect the further development of the plants. According to the leaf diagnostics, the plants of the Attergauer Dinkel variety needed both macro and microelements in the unfertilized areas. In the fertilized variant, the plants were fully supplied with the necessary nutrients. A similar pattern in the results of leaf diagnostics in unfertilized areas was obtained during 2023. Plants of the Zorya Ukrayiny variety required an additional 168 g/ha of manganese and 140 g/ha of iron. The plants of the Attergauer Dinkel variety had an average supply of sulfur and boron and a lack of magnesium, zinc, manganese and iron.*

Key words: functional leaf diagnostics, macro- and microelements, spelta varieties, fertilizer stage and flag leaf appearance.

Вступ

Спельта (*Triticum spelta* L.) – один із найдавніших підвидів пшениці, що використовується в харчуванні людини. Уперше її почали культивувати як хлібний злак у восьмому столітті до нашої ери, зараз вона повертає собі заслужену увагу. Зростання усвідомлення тісного взаємозв'язку між харчуванням і здоров'ям людини нині значно змінює харчові вподобання людей у всьому світі, спонукає до зростання споживання альтернативних культур, нових сортів зернових і продуктів з високою поживною цінністю (Патика та ін., 2015; Поліщук, 2016; Заїка і Карпук, 2023). Спельта – лідер за вмістом білків, клітковини та вітамінів серед усіх видів зерна. Вона містить стільки ж білків, як і м'ясо, а також містить 18 незамінних амінокислот, які неможливо отримати із тваринною їжею. Окрім чудових поживних властивостей, приємного смаку й аромату, борошно та хлібобулочні вироби зі спельти вирізняються високим рівнем засвоюваності, тому набувають все більшої популярності (Fageria et al., 2009; Fageria et al., 2010; Oliveira Gaurat et al., 2022). Виявлено, що сорти спельти вирізняються за біологічними проявами формування рівня врожайності зерна, зокрема, сорт Зоря України забезпечив урожайність 5,66 т/га, Європа – 5,89 т/га, а Аттергауер Дінкель – 4,85 т/га. За якісними характеристиками

зерна пшениці спельти визначено варіант застосування Гумату калію ГК-17 у фазу колосіння та повторно у фазу молочної стиглості за поєднання його із внесенням Agriflex Amino у фазу колосіння. Натура зерна сорту Зоря України становила 663 г/л, Європа – 680 г/л, Аттергауер Дінкель – 758 г/л, вміст білка був 18,55, 18,27 та 14,70%, а вміст сирової клейковини – 48,8, 41,6 та 33,0% відповідно (Заїка і Карпук, 2023). Оптиміальні економічні показники отримано за вирощування сорту Європа, собівартість виробництва однієї тонни зерна за оброблення посівів Гуматом калію ГК-17 у фазу молочної стиглості становила 4175 грн/га. Рівень рентабельності становив 240%, а за дворазового внесення позакореневого підживлення зі стимулятором росту отримано собівартість у 3 670 грн/т та рентабельність 272% (Карпук та ін., 2024).

Одним із найдоступніших чинників регулювання росту та розвитку рослин спельти є зміна їх мінерального живлення. Це можливо лише за належної діагностики живлення рослин, тобто завчасного виявлення нестачі чи надлишку елементів живлення. Листкова діагностика рослин являє собою хімічний аналіз рослинної тканини для визначення поточного вмісту (концентрації) поживних речовин у рослині. Особливо листкова діагностика важлива під час вирощування

сільськогосподарських культур за інтенсивними технологіями (Коваленко та ін., 2014а). Результати функціональної листкової діагностики пшениці озимої, яку проводили мобільною лабораторією «Агровектор® ПФ-014» до внесення добрив, показали дефіцит у тканинах рослин N, K, S, Ca, Mg, B, Cu, Zn, Mn і Fe. Застосування рідких комплексних добрив сприяло оптимізації вмісту низки макро- і мікроелементів (Довбиш та ін., 2019). Проведена листкова діагностика живлення соняшнику свідчить, що в рослинах спостерігали найменшу забезпеченість азотом у фазі 5–7 листків і цвітіння, фосфору було найменше внизу схилю, а нестача калію виявлена на водорозділі й у верхній частині схилю на 100%. На всіх варіантах дослідів у цей період спостерігали нестачу (від 45 до 100%) бору, кобальту, цинку, марганцю, заліза (Сенченко, 2015). Листкова діагностика застосовується для моніторингу рівня забезпеченості рослин поживними елементами та діагностики наявних проблем живлення (Коваленко та ін., 2014б).

Листя, як первинний фотосинтетичний орган рослин, безпосередньо відповідає за поглинання поживних речовин із ґрунту та перетворення їх на енергію для росту та розвитку. Правильне та збалансоване мінеральне живлення в кожен період процесу формування врожаю в конкретних умовах дає змогу отримати максимально можливу його кількість. Тому так важливо контролювати стан рослини в усі періоди її життєдіяльності (особливо у критичні фази розвитку). Використання ґрунтово-рослинної діагностики сприяє вчасному внесенню змін у технологію застосування добрив: дозування, строки, способи їх внесення, що дає можливість значно підвищити окупність і ефективність агрономічних заходів (Коваленко та ін., 2014б; Ізмоденова, 2016). Отже, аналіз рослинних тканин у поєднанні з інформацією про тестування ґрунту є рекомендованим підходом для діагностики дефіциту поживних речовин. Позакореневе тестування також допомагає діагностувати такі проблеми, як зміна кольору листя або повільний ріст рослин, які можуть бути пов'язані з дефіцитом мікроелементів. Так, найкращий момент для проведення позакорневих проб ожини для оцінювання поживності сортів Brazos, Guarani, Turu та BRS Xavante – початок цвітіння. Запропоновані критичні рівні для макроелементів (г/кг) становлять 25,5 для N; 2,0 для P; 11,2 для K; 2,9 для Ca; 0,3 для Mg і 2,1 для S, а для мікроелементів

(мг/кг) – 15,5 для B; 9,7 для Cu; 79,6 для Fe; 116,4 для Mn і 22,9 для Zn. Ці рівні P, K, Ca, Mg, S і B нижчі за діапазони, які вважаються придатними для ожини (Oliveira Gaurat et al., 2022).

Метою досліджень було проведення моніторингу листкової діагностики сортів пшениці спельти за варіантами досліду та виявлення рівня забезпечення рослин макро- і мікроелементами.

Матеріал і методи

Польові дослідження проводили із сортами спельти в умовах дерново-підзолистих супіщаних ґрунтів Приватного підприємства «Галекс Агро» упродовж 2021–2024 рр. Уміст гумусу на дослідних ділянках становив 1,53%; рН ґрунту (сольове) – 5,3; азоту, що легко гідролізується – 57,7 мг/кг; рухомих форм фосфору – 54,3 мг/кг, калію – 62,0 мг/кг.

Вивчали два сорти спельти (фактор А): Зорю України і Аттергауер Дінкель. Схема дослідів передбачала такі варіанти позакореневого удобрення (фактор В): 1. Без добрив (контроль), 2. Physio Natur PKS 47 Bio (13–15–19), добриво рекомендовано використовувати в органічному рослинництві. Фактор С включав: 1. Контроль (без добрив); 2. Гуміфілд ВР-18 (0,4 л/га); 3. Гумісол-плюс 01 зернові (по 0,5 л/га) – двічі: ранньовесняне кушення (ВВСН 23–29) та поява прапорцевого листка (ВВСН 37); 4. Гумісол-плюс 01 зернові (0,5 л/га) двічі + Гуміфілд ВР-18 (0,4 г/л).

Облікова площа ділянки – 100 м², повторність триразова, розміщення ділянок у досліді систематичне. Попередник спельти – гірчиця на сидерат.

Для проведення листкової діагностики рослин спельти використовували розроблену лабораторією функціональної листкової діагностики «Агровектор ПФ-014» (Компанія «АПК груп», Україна). Ця мінілабораторія дозволяє проводити діагностику автономно, у будь-якому місці, у польових умовах також, що важливо для різних культур у відкритому ґрунті. Показує вона потребу рослин у 14 основних елементах живлення на окремому етапі їхнього розвитку й у відповідних ґрунтово-кліматичних умовах (шкала потреби від 0 до 400%). Завдання виконували за методикою ґрунтової та листкової агрохімічної діагностики живлення рослин (Гоменко та ін., 2007; Прасол та ін., 2012). Відбирали зразки листя на діагностику в період початку виходу рослин у трубку (фаза ВВСН 31–32).

Результати

Аналіз листя спельти дає змогу точно діагностувати дефіцит поживних речовин, який важко визначити за допомогою аналізу ґрунту чи візуальної діагностики. Нестача мікроелементів не тільки призводить до зниження врожаю, а й спричиняє низку захворювань у рослин, знижує якість продуктів харчування. Вони стимулюють ріст рослин і прискорюють їхній розвиток, позитивно впливають на стійкість рослин до несприятливих умов зовнішнього середовища (рис. 1).

Установлено, що на варіанті без добрив рослини спельти сорту Зоря України були

забезпечені основними елементами живлення, але спостерігали також незначну нестачу окремих елементів живлення. Виявлено середнє забезпечення рослин спельти калієм, що потребує внесення 30 кг/га діючої речовини. Аналіз листя показав, що в рослинах висока нестача сірки, потрібно провести підживлення посівів (24 кг/га).

За внесення мікродобрива Physio Natur PKS 47 Біо посіви спельти сорту Зоря України були цілком забезпечені елементами живлення, про що свідчать дані листкової діагностики (рис. 2).

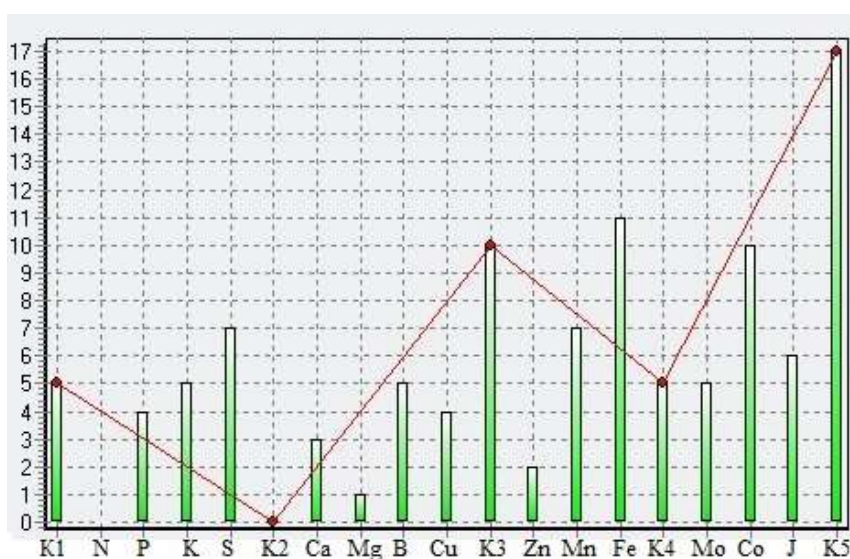


Рис. 1. Графік листкової діагностики спельти сорту Зоря України на варіанті без добрив, 2022 р.

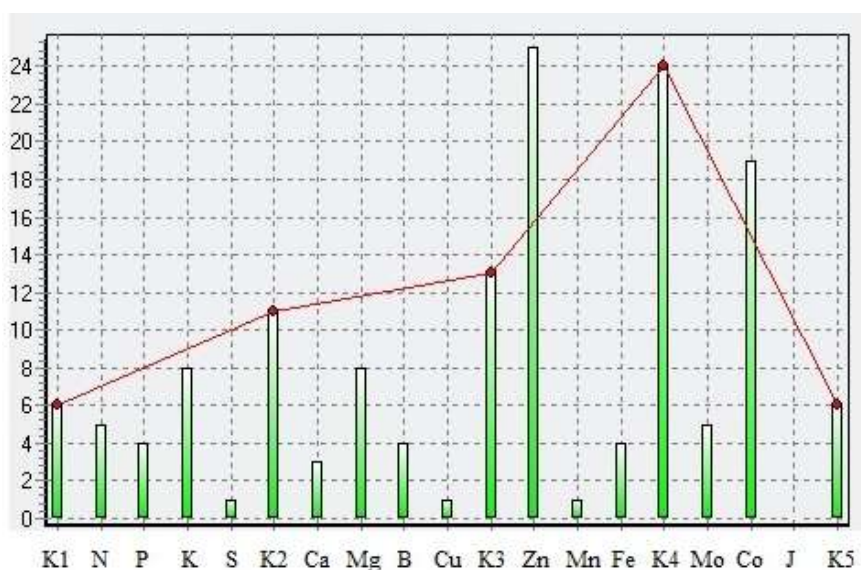


Рис. 2. Графік листкової діагностики спельти сорту Зоря України на варіанті із внесенням добрива Physio Natur PKS 47 Біо, 2022 р.

Незначна нестача таких елементів, як цинк і кобальт, яких потрібно довести в малих кількостях – 58,7 г/га та 0,1 г/га відповідно, не вплине на подальший ріст і розвиток рослин спелти.

Макро- і мезоеlementи необхідні рослинам у найбільшій кількості, оскільки вони є складниками багатьох компонентів рослин, як-от білки, нуклеїнові кислоти та хлорофіл, які важливі для таких фізіологічних процесів, як дихання, підтримка осмотичного тиску тощо. На варіанті досліджень спелти сорту Attergauer Dinkel без застосування добрив рослини деякою мірою не забезпечені елементами живлення. Спостерігається значна потреба в таких макроелементах, як фосфор і калій, яких потрібно внести по

18,5 кг/га та 46,7 кг/га відповідно. Забезпеченість азотом – на середньому рівні, його потрібно додатково внести в кількості 15,3 кг/га (рис. 3).

На неудобренних ділянках виявлена дуже висока нестача таких елементів, як сірка, кальцій і цинк. Тому саме оцінювання рівня поживних речовин у листі дозволяє безпосередньо визначити стан живлення рослин.

Результати проведених досліджень свідчать, що правильно розроблена оптимальна система удобрення органічного вирощування спелти впливає на ріст рослин і формування якісного врожаю (рис. 4).

Аналіз листової діагностики проводили в період початку виходу рослин у трубку (фаза ВВСН 31–32), який свідчить, що на

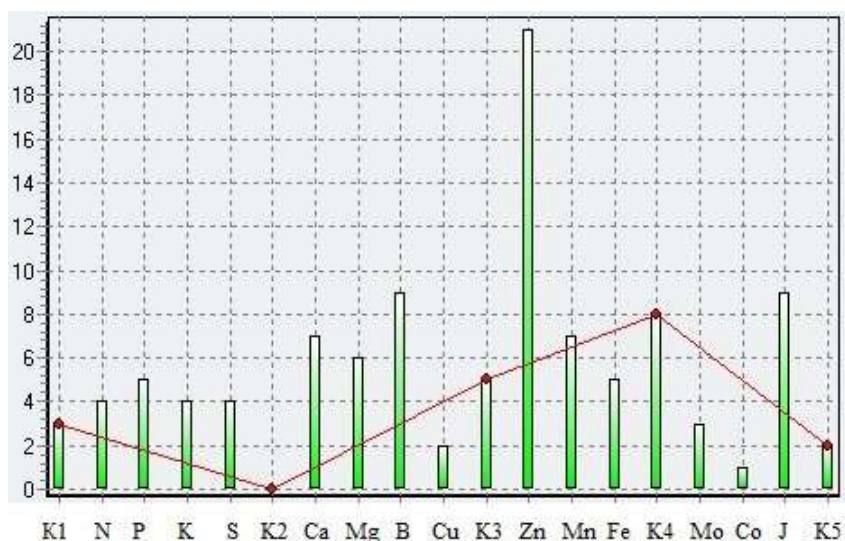


Рис. 3. Графік листової діагностики спелти сорту Attergauer Dinkel на варіанті без добрив, 2022 р.

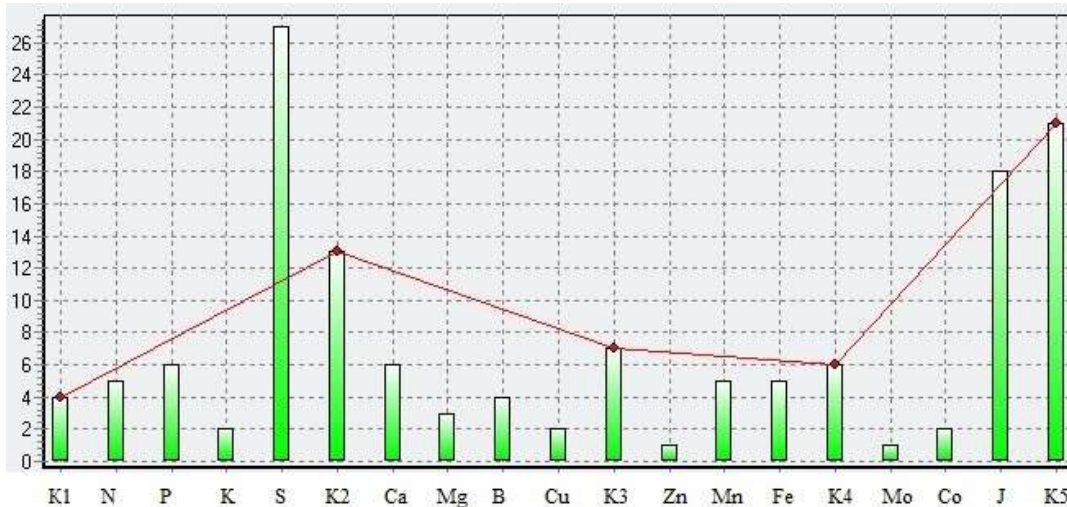


Рис. 4. Графік листової діагностики спелти сорту Attergauer Dinkel на варіанті із внесенням добрива Physio Natur PKS 47 Bio, 2022 р.

варіанті досліджень спельти сорту Attergaufer Dinkel із внесенням добрива Physio Natur PKS 47 Біо рослини цілком забезпечені елементами живлення. Спостерігається лише критична нестача сірки, якої потрібно внести 8,5 кг/га.

За внесення у ґрунт добрива Physio Natur PKS 47 Біо спостерігалось максимальне використання рослиною елементів живлення із ґрунту. На цьому варіанті рослини цілком забезпечені елементами живлення, лише спостерігається нестача кобальту, якого потрібно внести 15 г/га (рис. 5).

На варіанті досліджень без добрив рослини забезпечені елементами живлення,

лише спостерігається незначна потреба в таких мікроелементах, як марганець і залізо. Для кращого росту рослин їх потрібно довести в кількості 168 г/га для марганцю та 140 г/га для заліза (рис. 6).

За вирощування спельти сорту Attergaufer Dinkel на варіанті із внесенням добрива Physio Natur PKS 47 Біо аналіз листкової діагностики показав, що рослини забезпечені основними макро- і мезоелементами, але спостерігається висока нестача деяких мікроелементів, як-от бор, мідь і цинк (рис. 7).

За вирощування спельти сорту Attergaufer Dinkel на варіанті без добрив рослини забез-

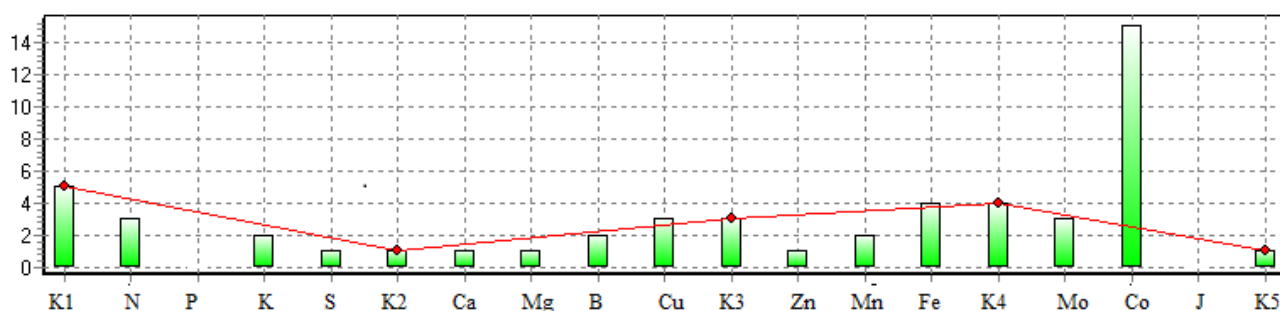


Рис. 5. Графік листкової діагностики спельти сорту Зоря України на варіанті із внесенням добрива Physio Natur PKS 47 Біо, 2023 р.

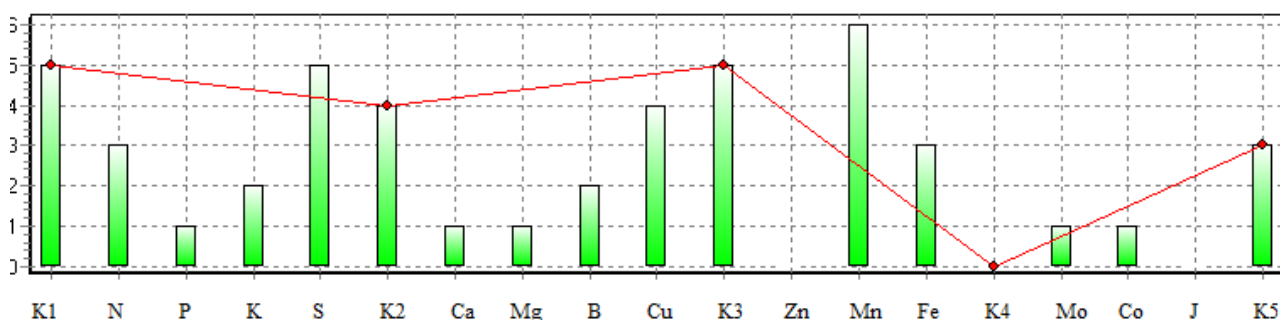


Рис. 6. Графік листкової діагностики спельти сорту Зоря України на варіанті без добрив, 2023 р.

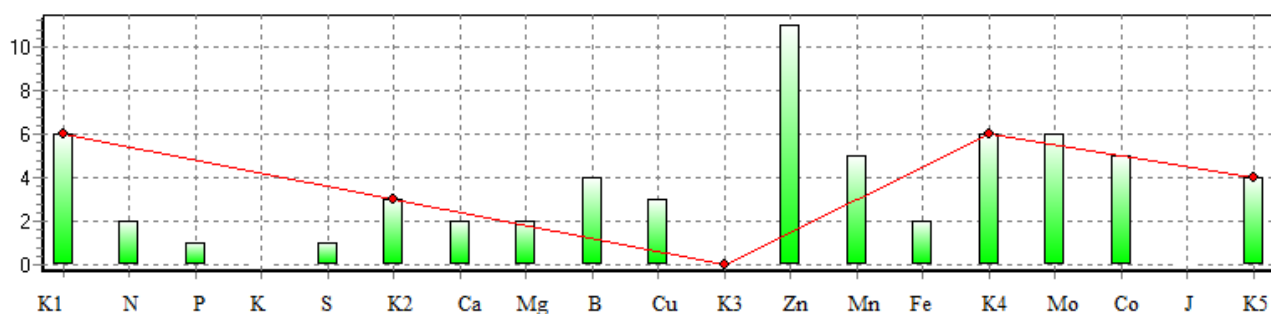


Рис. 7. Графік листкової діагностики спельти сорту Attergaufer Dinkel на варіанті із внесенням добрива Physio Natur PKS 47 Біо, 2023 р.

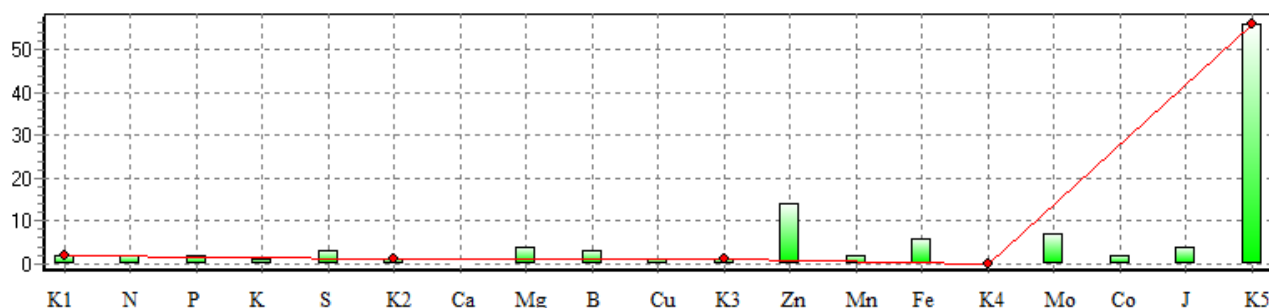


Рис. 8. Графік листкової діагностики спельти сорту Attergauer Dinkel на варіанті без добрив, 2023 р.

печені основними елементами живлення, але водночас спостерігається нестача мезо- та мікроелементів. Тобто рослини забезпечені на середньому рівні сіркою, бором. Однак рослини цього сорту не забезпечені такими елементами, як магній, цинк, марганець, залізо. Для забезпечення потреб рослин їх потрібно довести: сірки – 9 кг/га, магнію – 0,9 кг/га, бору – 220 г/га, цинку та заліза – по 400 г/га, марганцю – 360 г/га (рис. 8).

Інтерпретацію результатів листкового аналізу сортів спельти проводили згідно зі шкалою, у відсотках (%): 50–74 = оптимальний рівень елемента для повноцінного росту; <25 = дефіцит елемента; <50 = низький вміст елемента; >74 = високий вміст елемента; >99 = надлишок елемента, за якого можлива токсична дія (Коваленко, 2014а).

Висновки

1. В умовах дерново-підзолистого супіщаного ґрунту на варіанті без внесення стартових доз мінеральних добрив обидва сорти спельти потребували елементів живлення, особливо N, P, K, S, Ca, Fe, B, Zn, J. Однак рослини сорту Attergauer Dinkel відчували більшу нестачу мікроелементів порівняно з вітчизняним сортом Зоря України.

2. За внесення добрива Physio Natur PKS 47 Bio, яке дозволено для застосування в органічному землеробстві, сорт Attergauer Dinkel відчував дефіцит лише одного елемента – S, а сорт Зоря України – Zn, Co.

3. Для сорту Зоря України дефіцит мікроелементів Zn, Co не є критичним порівняно з гострою нестачею елемента S у рослинах сорту Attergauer Dinkel, оскільки сірка безпосередньо впливає на масу 1 000 зерен і якісні показники зерна.

Список використаної літератури

- Гоменко О. В., Корнійчук О. В., Пасінчак В. І., Нагребецький М.І. Методика ґрунтової і листкової агрохімічної діагностики живлення рослин : навчальний посібник. Вінниця, 2007. 98 с.
- Довбиш Л.Л., Кравчук М.М., Архип'юк Є.В. Оцінка ефективності удобрення пшениці озимої комплексними добривами на основі результатів листкової діагностики. Агропромислове виробництво Полісся. 2019. № 12. С. 13–17.
- Заїка Н.В., Карпук Л.М. Особливості структури врожаю спельти (*Triticum spelta* L.) в умовах Лісостепу України. Новітні агротехнології. 2023. Т. 11. № 1. <https://doi.org/10.47414/na.11.1.2023.285496>.
- Заїка Н.В., Карпук Л.М. Урожайність та якість зерна спельти (*Triticum spelta* L.) в умовах Лісостепу України. Агробіологія. 2023. № 1. С. 114–122. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2023-179-1-114-122>.
- Ізмоденова Т.І. Листкова діагностика у рослинництві. Пропозиція. 2016. [Електронний ресурс]. URL: <https://propozitsiya.com/ua/listkova-diaagnostika-u-roslinnictvi> (дата звернення: 20.11.2024).
- Карпук Л.М., Заїка Н.В., Тітаренко О.С., Павліченко А.А., Філіпова Л.М., Єзерковська Л.В., Караульна В.М., Єзерковський А.В. Економічна оцінка технології вирощування сортів пшениці спельти. Агробіологія. 2024. № 2. С. 35–42. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2024-191-2-35-42>.
- Коваленко О.А., Полянчиков С.П., Ковбель А.І. Аналіз ґрунту та листкова діагностика – світова практика оптимізації живлення рослин. Пропозиція. 2014. № 9. С. 70–71.

Коваленко О.А., Полянчиков С.П., Ковбель А.І. Листкова діагностика для оптимізації живлення рослин. *Агроном.* 2014. № 3. С. 344–345.

Патика В.П., Карпенко В.П., Любич В.В. Азотовмісні сполуки в зерні різних сортів і ліній пшениці спельти. *Вісник аграрної науки.* 2018. № 8. С. 17–23.

Поліщук К.В. Перспективна спельта. *The Ukrainian Farmer.* 2016. № 9. С. 62–63.

Прасол В.І., Сенченко Н.К. Агрохімія. Методичні вказівки щодо проведення лабораторно-практичної та самостійної роботи «Діагностика живлення рослин за допомогою фотометра ПФ-014» за темою «Хімічний склад рослин». Суми : Сумський національний аграрний університет, 2012. 18 с.

Сенченко Н.К. Функціональна діагностика як інструмент оптимізації мінерального живлення рослин. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія».* 2015. № 9 (30). С. 136–141.

Fageria N.K., Baligar V.C., Jones C.A. *Growth and Mineral Nutrition of Field Crops.* 3rd ed. CRC Press. 2010. P. 343–361. <https://doi.org/10.1201/b10160>.

Fageria N.K., Barbosa Filho M.P., Moreira A., Guimarães C.M. Foliar fertilization of crop plants. *Journal of Plant Nutrition.* 2009. Vol. 32 (6). P. 1044–64. <https://doi.org/10.1080/01904160902872826>.

Oliveira Gaurat J., de Barros Silva E., Monteiro Cruz M. do C., Esdras Lima J. Foliar sampling time and critical level diagnosis of nutrients for blackberry. *Journal of Plant Nutrition.* 2022. № 46 (6). P. 1108–1119. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2067769>.

References

Homenko, O.V., Kornichuk, O.V., Pasinchiak, V.I., & Nahrebetskyi, M.I. (2007). *Metodyka gruntovoi i lystkovoї ahrokhimichnoi diahnostryky zhyvlennia roslyn* [Methods of soil and leaf agrochemical diagnostics of plant nutrition]. Vinnytsia [in Ukrainian].

Dovbysh, L.L., Kravchuk, M.M., & Arkhypiuk, Ye.V. (2019). Otsinka efektyvnosti udobrennia pshenytsi ozymoї kompleksnymy dobryvamy na osnovi rezultativ lystkovoї diahnostryky [Evaluation of the efficiency of fertilizing winter wheat with complex fertilizers based on the results of leaf diagnostics]. *Ahropromyslove vyrobnytstvo Polissia* [Agricultural production in Polissya], 12, 13–17 [in Ukrainian].

Zaika, N.V., & Karpuk, L.M. (2023). Osoblyvosti struktury vrozhaiu spelty (*Triticum spelta* L.) v umovakh Lisostepu Ukrainy [Features of the structure of spelt (*Triticum spelta* L.) harvest in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine]. *Novitni ahrotekhnolohii* [Newest agricultural technologies], 11 (1). <https://doi.org/10.47414/na.11.1.2023.285496> [in Ukrainian].

Zaika, N.V., & Karpuk, L.M. (2023). Urozhainist ta yakist zerna spelty (*Triticum spelta* L.) v umovakh Lisostepu Ukrainy [Yield and quality of spelt grain (*Triticum spelta* L.) in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine]. *Ahrobiolohiia* [Agribiology], 1, 114–122. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2023-179-1-114-122> [in Ukrainian].

Izmodenova, T.I. (2016). Lystkova diahnostryka u roslynnytstvi [Leaf diagnostics in crop production]. *Propozytsiia* [Suggestion]. [Electronic resource] URL: <https://propozytsiya.com/ua/listkova-diaagnostika-u-roslynnytstvi> (access date 20.11.2024) [in Ukrainian].

Karpuk, L.M., Zaika, N.V., Titarenko, O.S., Pavlichenko, A.A., Filipova, L.M., Yezerkovska, L.V., Karaulna, V.M., & Yezerkovskyi, A.V. (2024). Ekonomichna otsinka tekhnolohii vyroshchuvannia sortiv pshenytsi spelty [Economic evaluation of spelt wheat cultivation technology]. *Ahrobiolohiia* [Agribiology], 2, 35–42. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2024-191-2-35-42> [in Ukrainian].

Kovalenko, O., Polianchykov, S., & Kovbel, A. (2014). Analiz gruntu ta lystkova diahnostryka – svitova praktyka optymizatsii zhyvlennia roslyn [Soil analysis and leaf diagnostics – the world practice of plant nutrition optimization]. *Propozytsiia* [Suggestion], 9, 70–71 [in Ukrainian].

Kovalenko, O.A., Polianchykov, S.P., & Kovbel, A.I. (2014). Lystkova diahnostryka dlia optymizatsii zhyvlennia roslyn [Leaf diagnostics for optimization of plant nutrition]. *Ahronom* [Agronomist], 3, 344–345 [in Ukrainian].

Patyka, V.P., Karpenko, V.P., & Liubych, V.V. (2018). Azotovmisni spoluky u zerni riznykh sortiv i liniy pshenytsi spelty [Nitrogen-containing compounds in grain of different varieties and lines of spelt wheat]. *Visnyk ahrarynoi nauky* [Bulletin of Agrarian Science], 8, 17–23 [in Ukrainian].

Polishchuk, K. (2016). Perspektyvna spelta [Perspective spelt]. *The Ukrainian Farmer*, 9, 62–63 [in Ukrainian].

Prasol, V.I., & Senchenko, N.K. (2012). Ahrokhimiia. Metodychni vkazivky shchodo provedenia laboratorno-praktychnoi ta samostiinoi roboty “Diahnostryka zhyvlennia roslyn za dopomohoiu

fotometra PF-014” za temoiu “Khimichniy sklad Roslyn” [Agrochemistry. Methodical instructions for conducting laboratory-practical and independent work “Diagnostics of plant nutrition using a photometer PF-014” on the topic “Chemical composition of plants”]. Sumy: Sumskyi natsionalnyi ahrarnyi universytet [in Ukrainian].

Senchenko, N.K. (2015). Funktsionalna diahnostyka yak instrument optymizatsii mineralnogo zhyvlennia roslyn [Functional diagnostics as a tool for optimizing mineral nutrition of plants]. Visnyk Sumskoho natsionalnogo ahrarnoho universytetu. Seriiia “Ahronomiia i biolohiia” [Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series “Agronomy and Biology”], 9 (30), 136–141 [in Ukrainian].

Fageria, N.K., Baligar, V.C., & Jones, C.A. (2010). Growth and Mineral Nutrition of Field Crops (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10160> [in English].

Fageria, N.K., Barbosa Filho, M.P., Moreira, A., & Guimarães, C.M. (2009). Foliar fertilization of crop plants. Journal of Plant Nutrition, 32 (6), 1044–1064. <https://doi.org/10.1080/01904160902872826> [in English].

Oliveira Gaurat, J., de Barros Silva, E., Monteiro Cruz, M. do C., & Esdras Lima, J. (2022). Foliar sampling time and critical level diagnosis of nutrients for blackberry. Journal of Plant Nutrition, 46 (6), 1108–1119. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2067769> [in English].

Отримано: 20.01.2025
Прийнято: 03.02.2025



УДК 635.21:361.523
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.16>

ПОШУК СТІЙКОСТІ ДО М'ЯКОЇ ГНИЛІ КАРТОПЛІ В УМОВАХ ПІВНІЧНО-СХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Н. В. Кравченко¹, А. А. Подгаєцький², А. О. Христенко³, А. Л. Задорожний⁴,
Б. М. Четверик⁵

*Рослини піддаються впливу різноманітних стресових чинників навколишнього середовища, зокрема й патогенів. Саме патогени, що взаємодіють зі сприйнятливими сортами рослин, можуть спричиняти захворювання за визначених умов навколишнього середовища. Збудники м'якої гнилі (ЗМГ) з родини *Pectobacterium* – це група патогенних бактерій, що спричинено перезволоженням, пов'язана із цим гіпоксія є частою проблемою в сільському господарстві. Саме надмірна вологість є сприятливим середовищем для цієї групи патогенів. Перезволоження саме собою є важливим джерелом абіотичного стресу для рослин через зниження газообміну, у цьому і є виявлення гіпоксії. Реакція рослин модулюється гормональними змінами, які запускають метаболічну та фізіологічну адаптацію до умов навколишнього середовища.*

*Картопля (*Solanum tuberosum* L.) чутлива до цього екологічного стресу, хоча вона може відчувати гіпоксію і реагувати на неї: у відповідь на гіпоксію SRP індукуює вироблення чинників вірулентності за допомогою циклічної дигуанілової кислоти (c-di-GMP). У результаті бульби картоплі мають*

¹ доктор сільськогосподарських наук, професор,
професор кафедри біотехнології та хімії
(Сумський національний аграрний університет, м. Суми)
e-mail: kravchenko_5@ukr.net
ORCID: 0000-0001-6072-2652

² доктор сільськогосподарських наук, професор,
професор кафедри біотехнології та хімії
(Сумський національний аграрний університет, м. Суми)
e-mail: podgaje@ukr.net
ORCID: 0000-0002-7235-9413

³ аспірант спеціальності агрономія кафедри біотехнології та хімії
(Сумський національний аграрний університет, м. Суми)
e-mail: artmkhrstnk99@gmail.com
ORCID: 0009-0003-6841-8403

⁴ аспірант спеціальності агрономія кафедри біотехнології та хімії
(Сумський національний аграрний університет, м. Суми)
e-mail: arturius.art@gmail.com
ORCID: 0009-0001-9518-6519

⁵ аспірант спеціальності агрономія кафедри біотехнології та хімії
(Сумський національний аграрний університет, м. Суми)
e-mail: cbn.interagro@gmail.com
ORCID: 0009-0003-5162-0621

захист для збереження енергії та запобігання несприятливим метеорологічним умовам, але це спрацьовує не завжди, бо інколи рослини вражаються м'якою гниллю. Для зменшення втрат від м'якої гнилі необхідні чутливі та надійні методи виявлення патогенів та ізоляції заражених рослин.

Мета нашого дослідження – проаналізувати, систематизувати дані щодо поширення, шкідливості, механізму стійкості до перезволоження, методів контролю збудників патогену до картоплі. Стійкість картоплі до патогену може бути зумовлена не лише перезволоженням, але й корисними мікроорганізмами, які можуть запускати природний захист рослини від бактеріальної інфекції. Однак більшість відомих корисних для рослин мікроорганізмів страждають від гіпоксії і можуть бути вражені рослинними патогенами, тому вважаємо, що треба пом'якшити вплив на рослини шляхом пошуку мікроорганізмів, які можуть переносити гіпоксичні умови, або шляхом покращення структури ґрунту. Проаналізовано основні елементи реакції картоплі на гіпоксію й інфекцію СРБ (С – реактивний білок), а також майбутні перспективи профілактики м'якої гнилі, з урахуванням впливу умов навколишнього середовища.

Проведено дослідження визначення стійкості міжвидових гібридів, сортів картоплі до м'якої гнилі польовим і лабораторно-польовим методами в умовах Північно-східного Лісостепу України, а також аналіз і узагальнення отриманих результатів.

Ключові слова: м'яка гниль, картопля, перезволоження, адаптація, біотехнологія, фітогормони, віруси.

SEARCH FOR RESISTANCE TO POTATO SOFT ROT IN THE CONDITIONS OF THE NORTH-EASTERN FOREST-STEPPE OF UKRAINE

N. V. Kravchenko, A. A. Podgayetskyi, A. O. Khristenko, A. L. Zadorozhny, B. M. Chetverik

Plants are exposed to a variety of environmental stressors, including pathogens. It is pathogens that interact with susceptible plant varieties that can cause disease under certain environmental conditions.

Soft rot pathogens (SRMs) of the Pectobacterium family are a group of pathogenic bacteria that are caused by waterlogging and the associated hypoxia, a common problem in agriculture. Excessive moisture is a favorable environment for this group of pathogens. Waterlogging itself is an important source of abiotic stress for plants due to reduced gas exchange, which is where hypoxia is detected. The plant response is modulated by hormonal changes that trigger metabolic and physiological adaptation to environmental conditions.

Potato (Solanum tuberosum L.) is sensitive to this environmental stress, although it can sense and respond to hypoxia: in response to hypoxia, SRP induces the production of virulence factors using cyclic diguanylic acid (c-di-GMP). As a result, potato tubers have protection to conserve energy and prevent adverse weather conditions, but this does not always work, because sometimes plants are affected by soft rot. To reduce losses from soft rot, sensitive and reliable methods for detecting pathogens and isolating infected plants are needed.

The aim of our study was to analyze, systematize data on the distribution, harmfulness, mechanism of resistance to waterlogging, and methods for controlling pathogens of the potato pathogen. Potato resistance to the pathogen may be due not only to waterlogging, but also to beneficial microorganisms that can trigger the plant's natural defenses against bacterial infection. However, most of the known microorganisms beneficial to plants suffer from hypoxia and can be affected by plant pathogens, so we believe that to mitigate the impact on plants, by searching for microorganisms that can tolerate hypoxic conditions, or by improving the soil structure. The main elements of the potato response to hypoxia and CRP (C-reactive protein) infection are analyzed, as well as future prospects for the prevention of soft rot, taking into account the influence of environmental conditions.

A study was conducted to determine the resistance of interspecific hybrids, potato varieties to soft rot by field and laboratory-field methods in the conditions of the North-Eastern Forest-Steppe of Ukraine, as well as the analysis and generalization of the results obtained.

Key words: soft rot, potatoes, waterlogging, adaptation, biotechnology, phytohormones, viruses.

Вступ

Протягом свого життя рослини піддаються різного роду стресам, які можна

умовно поділити на біотичні й абіотичні. Біотичний стрес спричиняють живі організми, а саме тварини, гриби, бактерії

й інші рослини, віруси та віроїди. Фізичні або хімічні екологічні чинники спричиняють абіотичний стрес (Nawaz et al., 2023). Нині спостерігається зростання кількості досліджень, присвячених впливу стресових чинників на рослини, їхній реакції на них (Leisner et al., 2023). Абіотичний стрес відбивається на рослинах та їх патогенах, змушує рослини коригувати свою реакцію на обидва чинники. Патогени рослин часто спричиняють симптоми захворювання в умовах, сприятливих для їхнього господаря, так званого «трикутника хвороби», що складається із трьох елементів: вірулентних хвороботворних бактерій, рослин і відповідних умов навколишнього середовища (Francl, 2001).

Екологічний стрес, наприклад гіпоксія, тобто стан зниження доступності кисню (1–5%), може сприяти деяким захворюванням у рослин (Сикало та ін., 2005; Chung & Lee, 2020). Гіпоксія пригнічує аеробне дихання рослин, що призводить до зниження метаболізму, сповільнення росту та зниження стійкості до інших стресових чинників, як-от некротрофні патогени (Lee et al., 2020; Zhou et al., 2021). Гіпоксія, як стресор, здебільшого спричинена збільшенням вологості основної частини коренів або надземної частини рослини (Pan et al., 2021).

Повітряні кишені ґрунту заповнені водою, додатково киснем, неполярним газом, що слаблорозчинний у воді, що призводить до зниження рухливості кисню та доступності до кореня рослини (Tromans, 1998). Результатом є різка зміна метаболізму рослин, що робить їх більш сприйнятливими до інших чинників зовнішнього середовища. Заболочування спричиняє у ґрунті структурну перебудову через високу щільність води, а це призводить до ущільнення ґрунту. В ущільненому та позбавленому кисню ґрунті накопичуються токсичні мікробні метаболіти та спостерігається зниження окислювально-відновного потенціалу, що веде до зниження рН ґрунту та збільшення кількості токсичних речовин іонів металів (Manik et al., 2019), тому надлишкова вологість може завдати величезних економічних збитків у сільському господарстві, вона знижує врожайність на 33% унаслідок зміни клімату та погіршення структури ґрунту (Подгаєцький і Коваль, 1988; Подгаєцький, 2002а; Tian et al., 2021).

Однак гіпоксія також може бути більш локальним фізіологічним станом для деяких тканин або клітин. Наприклад, низький

вміст кисню в меристематичних тканинах перешкоджає диференціації клітин (Weits et al., 2019). На зменшення проникнення кисню до рослини впливають структура ґрунту й азотофіксуючі бактерії. Корисні бактерії *Rhizobia* і *Sinorhizobia* змушують рослини захищати свою нітрогеназу від окислення (Berger et al., 2019).

Окрім того, бульби адаптуються до зниження доступності кисню завдяки зниженню швидкості первинного метаболізму (Geigenberger et al., 2000).

Через низьке проникнення кисню до тканин рослини лише зовнішня її частина характеризується високою метаболічною активністю (Mori et al., 2019). Епідерміс і субепідермальні частини органів рослин мають найкращий доступ до атмосферного кисню, отже, належний енергетичний потенціал індукують захисні сили рослин, включаючи вторинний метаболізм, і захищаються від них інвазією патогенів, але коли бар'єр епідермісу порушується, то знижується швидкість метаболізму, унаслідок чого патогени мають доступ до менш захищених внутрішніх органів рослин (Geigenberger, 2003; Lake & Wade, 2009).

Однак зволоження впливає не тільки на метаболізм рослин, але й на ґрунт, який населяють мікроорганізми, патогенні також. Для деяких патогенів зменшення доступності кисню може стримувати їх виживання (наприклад, *Collybia fusipes* (Camy et al., 2003)) і патогенність (наприклад, *Fusarium graminearum* (Tang et al., 2018)), але інші мікроорганізми можуть отримати від цього користь. Деякі бактеріальні патогени рослин, *Pectobacteriaceae* м'якої гнилі (далі – SRP) (Mansfield et al., 2012), мають користь від гіпоксії саме у процесі адаптації (Lisicka et al., 2018) і знижених захисних сил рослин. Ці бактерії спричиняють м'яку гниль у фруктах і овочах.

М'яка гниль – одна із хвороб, що вражає картоплю (*Solanum tuberosum* L.) (Подгаєцький, 2002b; Dupuis et al., 2021). SRP потрапляють у бульби через рани, або вічки, залежно від умов навколишнього середовища, або є прихованою інфекцією, розмножуються та проникають глибше у тканини рослин, що призводить до розвитку хвороби. Латентно інфіковані бульби (без будь-яких симптомів) є найпоширенішим джерелом цих збудників (Положенець та ін., 1994; Чечітко, 2000).

Приховані інфекції призводять до розвитку захворювання за сприятливих умов,

як-от: підвищена температура, висока вологість і низька доступність кисню. Отже, наявність *Pectobacteriace atrosepticum* призводить до розвитку хвороби м'якої гнилі в умовах високої температури та вологості у ґрунті.

Матеріал і методи

Експериментальна робота виконувалась на полях Навчально-наукового виробничого комплексу Сумського національного аграрного університету (далі – СНАУ) у сівозміні кафедри біотехнології та хімії впродовж 2022–2023 рр. Ґрунт СНАУ – чорнозем типовий глибокий малогумусний, 3,89, середньосуглинковий, основні елементи живлення кислі (рН 4,9), який характерний для більшості земель Північно-східного Лісостепу України (табл. 1). Дослідження здійснювали відповідно до загальноприйнятих вимог і рекомендацій щодо фітопатологічних досліджень із картоплі.

Вихідним матеріалом у дослідженнях було потомство від беккросування міжвидових гібридів комбінацій: П 59 із походженням (S. demissum x S. bulbocastanum) x S. tuberosum, П 56 і П 63 – [(S. demissum x S. bulbocastanum) x S. andigenum] x S. tuberosum, П 65 – {(S. acaule x S. bulbocastanum) x S. phureja} x S. demissum} x S. tuberosum, П 55 – {(S. acaule x S. bulbocastanum) x S. phureja} x S. demissum} x S. andigenum / x S. tuberosum, одержане проф. А.А. Подгаєцьким. Як сорти-стандарту використовували Серпанок, Тирас, Явір, Тетерів і Случ. Оцінено 250 міжвидових гібридів картоплі та їх беккросів. Експерименти виконували згідно з методиками, розробленими й апробованими в ІК стосовно селекційно-генетичних досліджень (Методичні ..., 2020). Ділянки однорядкові, по 11 рослин у рядку. Площа живлення становить 70 x 35 см.

Середнє значення маси всіх бульб і товарних вираховували діленням урожай-

ності бульб із рядка на кількість бульб. Вміст гумусу достатній для отримання високих урожаїв сільськогосподарських культур.

За агрокліматичною оцінкою орні землі СНАУ віднесені до другого агрокліматичного району Сумської області. Помірний континентальний клімат характеризується теплим літом і не дуже холодною зимою з відлигами. Поблизу немає великих водних басейнів, що впливають на клімат загалом чи на його елементи. За середніми багаторічними даними, найбільш холодними місяцями є січень і лютий, а теплим – липень. Сума активних температур – понад 10 °С, у межах 2 500–2 650 °С. Середньорічна температура повітря становить 6,5 °С, сума опадів – 531 мм. Найбільша кількість опадів влітку та восени. Безморозний період триває 275 днів. За багаторічними даними, перші осінні заморозки спостерігаються у другій декаді вересня, а останні весняні закінчуються у третій декаді квітня – на початку першої декади травня.

Контроль патогенів. Природний захист рослин від патогенів можна стимулювати застосуванням хімікатів, а можна і корисними для рослин мікроорганізмами, тобто індукованою системною резистентністю (далі – ISR). Бактерії видів *Bacillus amyloliquefaciens*, *B. pumilus*, *B. subtilis*, *B. Thuriensis*, *B. Vallismortis*, *Klebsiella oxytoca*, *Ochrobactrum lupini*, *Pseudomonas chlorapis* можуть індукувати системну стійкість рослин проти м'якої гнилі *Pectobacteriaceae*. Біологічні засоби контролю (BCA) індукують системну стійкість рослин шляхом активації саліцилової кислоти (SA), або жасмонової кислоти (JA) – залежних шляхів. Саме саліцилова кислота (SA) індукує стійкість рослин до м'якої гнилі. Більшість вищезазначених штамів бактерій можуть пригнічувати хворобу м'якої гнилі за допомогою інших способів дії, як-от пряме пригнічення росту збудника.

Таблиця 1

Агрохімічна характеристика ґрунту дослідного поля

Ґрунт	Гумус, %	рН	ГК, мг-екв./ 100 г ґрунту	СВО (Ca + Mg), мг-екв./ 100 г ґрунту	P ₂ O ₅	K ₂ O	N – легкогидролізований
Чорнозем типовий глибокий малогумусний середньосуглинковий, великопилований	3,89	4,9	1,6	30,2	109	100	87

Було доведено, що мікробні спільноти відіграють головну роль у стійкості картоплі проти м'якої гнилі. Природні взаємодії між ґрунтовими мікроорганізмами, які можуть впливати як на патогени, так і на їхніх господарів, можна вважати захистом рослин від м'якої гнилі. Усе більше привертають увагу дослідження, присвячені відкриттю нових штамів бактерій, активних проти м'якої гнилі, зокрема, але не тільки, *Agrobacterium*, *Bacillus* тощо. Є декілька повідомлень про штами біоконтролю проти SRP грибів: *Aspergillus*, *Penicillium* і *Trichoderma*, бактеріофаги: *Axotammavirus* PP1; *Cbunavirus* CB1, CB3 і CB4 ; *Kotilavirus* PP16 та інші.

Вищезазначені агенти біоконтролю можуть захищати рослини від хвороб за допомогою різних способів дії, як-от антагонізм до патогенів, пригнічення їх патогенезу, індукція захисту рослин.

Збудники мокрої гнилі картоплі й інших сільськогосподарських культур належать до групи пектолітичних ентеробактерій, що включає види роду *Pectobacterium* (*P. carotovorum* subsp.

carotovorum; *P. carotovorum* subsp. *actinidiae*; *P. carotovorum* subsp. *brasiliense*; *P. carotovorum* subsp. *odoriferum*, *P. atrosepticum*, *P. Betavasculorum*, *P. wasabiae*) (рис. 1, 2).

Усі три компоненти необхідні для індукції хвороби м'якої гнилі: наявність патогену, умов навколишнього середовища, тобто надмірної вологості, і рослини. Вірулентний штам *Pectobacteriaceae* м'якої гнилі, на вірулентність якого дуже впливає виробництво ферментів, що руйнують клітинну стінку, а також інші чинники вірулентності, як-от виробництво токсинів, серед яких білок, що індукуює некроз (Nip), і тип 4 і 6 системи виділення.

Натепер немає сортів картоплі, стійких до хвороби м'якої гнилі. Умовами, які сприяють захворюванню м'якою гниллю, ми вважаємо високу вологість і температуру, наслідком чого стає гіпоксія.

Багато вчених-селекціонерів намагались створити сорти картоплі, стійкі до м'якої гнилі, але не досягли успіху, тому ми маємо на меті розробити нові стратегії захисту



Рис. 1. Ураження *Dickeya dianthicola* на листках картоплі. Початкові симптоми – скручування листя (А, фото зліва). Основа стебла стає темно-коричневою або чорною, цей некроз може поширюватися на кілька сантиметрів від лінії ґрунту (В, фото справа)



Рис. 2. Симптоми бактеріальної м'якої гнилі, спричиненої *Pectobacterium* на картоплі

картоплі від цих патогенів. Види рослин *Solanum L.*, які краще пристосовані до заболочування, можуть бути добрим джерелом стійкості до хвороб м'якої гнилі.

Фітогормони координують метаболічні та морфологічні зміни в рослин. Наприклад, для виявлення гіпоксії та сигналізації є етилен, який виробляється всіма тканинами рослин, але швидко виходить в атмосферу. Заболочування порушує дифузію неполярного етилену, який накопичується в рослинах.

Результати й обговорення

Мікросередовище впливає на потенціал мікроорганізмів і залежить від одночасної взаємодії рослин, мікроорганізмів і навколишнього середовища, додатково ще проходять зміни завдяки використанню протимікробних препаратів, у результаті мікроорганізми формують мікросередовища та впливають не тільки на рослину та патогени, але й одне на одного. Надмірна вологість ґрунту погіршує доступ кисню до мікроорганізмів. Наявність кисню впливає на мікробний (анаеробні й аеробні бактерії) склад ґрунту.

Анаеробний метаболізм рослини створює продукти, які виділяються, щоб мінімізувати їхню токсичність для рослин. Гіпоксія впливає на мікробні угруповання рослин. Припускають, що застосування корисного PGPR може бути успішним лише тоді, коли ґрунт має належну аерацію. Вплив гіпоксії на діяльність бактеріофагів не досить вивчений, дані про вплив гіпоксії на патогени рослин і бактеріофаги відсутні.

Аналіз отриманих результатів. Через зміну клімату та глобальне транспортування овочів ми спостерігаємо зростання втрат, зумовлених м'якою гниллю. Знання про патогенність м'якої гнилі *Pectobacteriace* постійно зростає, особливо завдяки новим

прогресивним молекулярним методам. Після проведення оцінювання селекційного матеріалу картоплі на стійкість до грибних і бактеріальних хвороб отримали такі результати (табл. 2).

Ми вважаємо, що патогени та реакції рослин у дослідженнях охоплюють не тільки середовище, діють комплексно, тобто мають підхід, що включає різні стратегії, наприклад, належна агротехніка, санітарія, використання нешкідливого насіннєвого матеріалу, вчасне виявлення патогену, розведення стійких сортів і цілеспрямований контроль хвороб необхідні для захисту культур від бактеріальних хвороб. Основну увагу треба зосередити на врахуванні умов навколишнього середовища, які є вирішальними для розвитку захворювання рослини.

Картопля по-різному реагує на зволоження та гіпоксію, як наслідок – хвороба м'якої гнилі.

У навколишньому середовищі не цілком установлені джерела інфекції, імовірність зараження під час виробництва картоплі висока. Це потребує розроблення надійних методів виявлення SRP під час виробництва насіннєвих бульб. Окрім того, динаміка популяції різних видів SRP потребує адаптації використовуваних методів до найбільш загрозливих видів груп. Тоді як складні та чутливі методи найкраще підходять для розроблення нових, швидких і простих методів виявлення в насіннєвих бульбах латентних вірусів (наприклад, імуноферментні методи), мають вирішальне значення для швидкої ідентифікації й ізоляції.

Однак використання вільного від патогенів насіннєвого матеріалу та швидка ідентифікація хвороби в полі можуть допомогти зменшити навантаження патогенів. Висока захворюваність м'якою гниллю під час років

Таблиця 2
Оцінювання селекційного матеріалу картоплі на стійкість до грибних і бактеріальних хвороб (2022–2023 рр.)

Хвороби	Оцінено, шт.						
	усього	стійких		середньостійких		нестійких	
		Кількість, шт.	%	Кількість, шт.	%	Кількість, шт.	%
Вірусні	97	43	44,3	35	36,0	19	19,7
Мокра гниль	200	65	32,5	85	42,5	50	25
Кільцева гниль	185	62	33,5	85	45,9	38	20,5
Фузаріоз	173	50	28,9	95	54,9	28	16,2
Альтернаріоз	242	42	17,4	150	61,9	50	20,7
Фітофтороз	250	50	20	90	36	110	44

з великою кількістю опадів потребує створення нових, більш стійких сортів картоплі.

Метою є створення нових стійких сортів картоплі та біологічний захист рослин, перспективні підходи до боротьби із хворобою м'якої гнилі. Використання системи CRISPR-Cas дозволяє легко та швидко створювати нові сорти рослин, набуває соціального значення допуск до застосування в сільському господарстві. Використання диких видів *Solanum* як джерела нових генів у селекції картоплі є перспективним для отримання нових сортів, які будуть більш стійкими до хвороб. Більшість рослин *Solanum* поширені у тропічних регіонах, тому мають численні метаболічні та фізіологічні адаптації до високої вологості.

Рід *Solanum* охоплює багато диких видів картоплі, які мають пом'якшити стрес від надмірної вологості та розвитку хвороби м'якої гнилі картоплі.

Висновки

Стійкість картоплі до гіпоксії та м'якої гнилі можна додатково підвищити сприятливою мікробіотою. Біологічний захист рослин може бути цінним джерелом стійкості проти SRP і пом'якшення стресу від надмірної вологості.

Важливо враховувати вплив гіпоксії на рослину в застосуванні штамів бак-

терій біоконтролю як захисту від хвороб у мінливих умовах середовища, пом'якшення цього абіотичного стресу, щоб зменшити ймовірність розвитку захворювання. Біологічні засоби захисту рослин від хвороби м'якої гнилі мають залишатися активними в умовах гіпоксії і не витіснятися патогенами, коли доступність кисню знижується. Рекомендуємо застосовувати біологічні контрольні барвники шляхом індукції їх системного опору, або через продукцію 1-аміноциклопропан-1-карбоксилат (ACC) дезамінази, що не впливає на їхню здатність зменшувати кількість картоплі, дає стійкість до надмірної вологості. Здатність мікроорганізмів щодо формування механічного складу ґрунту також вважаємо перспективним методом для полегшення стресу від надмірної вологості ґрунту, що зменшує ймовірність розвитку хвороби м'якої гнилі, але водночас варто взяти до уваги наявність супутнього абіотичного стресу.

Фітопатогенні бактерії бактерій роду *Dickeya* є небезпечними для вирощування картоплі на землях України, можуть спричинювати втрати врожаю цієї культури. Найважливішим заходом контролю збудників роду *Dickeya* є своєчасне виявлення фітопатогену на насіннєвому матеріалі.

Список використаної літератури

- Методичні рекомендації щодо проведення досліджень з картоплею / Інститут картоплярства НААН. Немішаєве, 2020. 183 с.
- Подгаєцький А.А. Інтегрована система захисту картоплі від хвороб, шкідників і бур'янів. Хвороби та шкідники картоплі, заходи боротьби з ними. Київ, 2002а. С. 137–155.
- Подгаєцький А.А. Генофонд картоплі, його складові, характеристика і стратегія використання. *Картопля*. Київ, 2002b. Т. 1. С. 156–198.
- Подгаєцький А.А., Коваль Н.Д. Створення вихідного матеріалу картоплі, стійкого проти сухої фузаріозної гнилі. *Картоплярство*. 1988. № 19. С. 5–19.
- Положенець В.М., Марков І.А., Мельник П.О. Хвороби і шкідники картоплі. Житомир : Полісся, 1994. 200 с.
- Сикало О.О., Мовчан О.М., Устінов І.Д. Карантинні шкідливі організми. Київ, 2005. № 2. С. 197–201.
- Чечітко І.П. Використання генофонду картоплі для створення вихідного селекційного матеріалу, стійкого проти сухої фузаріозної гнилі : дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.05. Немішаєве, 2000. 157 с.
- Berger A., Boscardi A., Frendo P., Brouquisse R. Nitric Oxide Signaling, Metabolism and Toxicity in Nitrogen-Fixing Symbiosis. *Journal of Experimental Botany*. 2019. 70. № 17. P. 39–55.
- Camy C., Dreyer E., Delatour C., Marçais B. Responses of the Root Rot Fungus *Collybia Fusipes* to Soil Waterlogging and Oxygen Availability. *Journal Mycological Research*. 2003. № 107. P. 1103–1109. <https://doi.org/10.1017/s095375620300830x>.
- Chung H., Lee H. Hypoxia: A Double-Edged Sword During Fungal Pathogenesis? *Journal Frontiers in microbiology*. 2020. № 11. P. 111–119. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01920>.
- Francel L.J. The Disease Triangle: A Plant Pathological Paradigm Revisited. *Plant Health Instr. American Journal of Molecular Biology*. 2018. № 8 (2). <https://doi.org/10.1094/PHI-T-2001-0517-01>.

- Geigenberger P. Response of Plant metabolism to too little oxygen. *Current Opinion Plant Biology*. 2003. № 6. P. 247–256.
- Geigenberger P., Fernie A., Gibon Y., Christ M., Stitt M. Metabolic activity decreases as an adaptive response to low internal oxygen in growing potato tubers. *Journal of Biological Chemistry*. 2000. № 381 (8). P. 723–740. <https://doi.org/10.1515/BC.2000.093>.
- Lake J.A., Wade R.N. Plant-Pathogen Interactions and Elevated CO₂: Morphological Changes in Favour of Pathogens. *Journal of Experimental Botany*. 2009. № 60. P. 231–245. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp147>.
- Lee H.J., Park J.S., Shin S.Y., Kim S.G., Lee G., Kim H.S., Jeon J.H., Cho H.S. Submergence Deactivates Wound-Induced Plant Defence against Herbivores. *Journal Communications Biology*. 2020. № 3. P. 123–135.
- Leisner C.P., Potnis N., Sanz-Saez A. Crosstalk and trade-offs: Plant responses to climate change-associated abiotic and biotic stresses. *Journal Plant Cell Environ*. 2023. № 46 (10). P. 2946–2963. <https://doi.org/10.1111/pce.14532>.
- Lisicka W., Fikowicz-Krosko J., Jafra S., Narajczyk M., Czaplewska P., Czajkowski R. Oxygen Availability Influences Expression of *Dickeya solani* Genes Associated with Virulence in Potato (*Solanum tuberosum* L.) and Chicory (*Cichorium intybus* L.) / W. Lisicka et al. *Journal Frontiers in Plant Science*. 2018. № 21 (9). P. 324–337. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00374>.
- Manik S., Pengilley G., Dean G., Field B., Shabala S., Zhou M. Soil and Crop Management Practices to Minimize the Impact of Waterlogging on Crop Productivity. *Journal Frontiers in Plant Science*. 2019. № 10. P. 245–265. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00140>.
- Mansfield J., Genin S., Magori S., Citovsky V., Sriariyanum M., Ronald, P., Dow M., Verdier V., Beer S.V., Machado M.A. Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. *Journal Molecular Plant Pathology*. 2012. № 13 (6). P. 614–629. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2012.00804.x>.
- Mori K., Beauvoit B., Biais B., Chabane M., Allwood J., Deborde C., Maucourt M., Goodacre R., Cabasson C., Moing A., et al. Central Metabolism Is Tuned to the Availability of Oxygen in Developing Melon Fruit / K. Mori et al. *Journal Frontiers in Plant Science*. 2019. № 10. P. 132–145. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00594>.
- Nawaz M., Sun J., Shabbir S., Khattak W.A., Ren G., Nie X., Bo Y., Javed, Q., Sonne C. A review of plants strategies to resist biotic and abiotic environmental stressors. *Journal Science of The Total Environment*. 2023. № 9. P. 165–185.
- Pan J., Sharif R., Xu X., Chen X. Mechanisms of Waterlogging Tolerance in Plants: Research Progress and Prospects. *Journal Frontiers in Plant Science*. 2021. № 11. P. 78–89. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.627331>.
- Tang G., Zhang C., Ju Z., Zheng S., Wen Z., Xu S., Chen Y., Ma Z. The mitochondrial membrane protein FgLetm1 regulates mitochondrial integrity, production of endogenous reactive oxygen species and mycotoxin biosynthesis in fusarium graminearum. *Journal Molecular Plant Pathology*. 2018. № 19. <https://doi.org/10.1111/mpp.12633>.
- Tian X., Zhang C., Chen L., Zhang F., Li J., Yan F., Dong Y., Feng L. How Does the Waterlogging Regime Affect Crop Yield? A Global Meta-Analysis. *Journal Frontiers in Plant Science*. 2021. № 12. 634898. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.634898>.
- Tromans D. Temperature and Pressure Dependent Solubility of Oxygen in Water: A Thermodynamic Analysis. *Journal Hydrometallurgy*. 1998. № 48. P. 327–342. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(98\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(98)00007-3).
- Weits A., Kunkowska B., Kamps W., Portz S., Packbier K., Nemec Venza Z., Gaillochet C., Lohmann U., Pedersen O., van Dongen T., et al. An apical hypoxic niche sets the pace of shoot meristem activity. *Journal Nature*. 2019. № 569. P. 714–727. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1203-6>.
- Zhou A., Liu J., Tian Y., Chuan J., Hu B., Zou J., Li X. First Report of *Dickeya fangzhongdai* causing soft rot in Orchids in Canada. *Journal Plant Disease*. 2021. № 23. P. 123–144. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-21-0771-PDN>.

References

- Metodychni rekomendatsiyi shchodo provedennya doslidzhen z kartopleyu (2020) [Methodological recommendations for conducting research with potatoes]. Institute of Potato Growing of the National Academy of Sciences of Ukraine. Nemishayev, P. 183 [in Ukrainian].
- Podhayetskyi, A.A. (2017). Intehrovana systema zakhystu kartopli vid khvorob, shkidnykiv i bur'yaniv. Khvoroby ta shkidnyky kartopli, zakhody borot'by [Integrated system of potato protection from diseases, pests and weeds].

tion from diseases, pests and weeds. Potato diseases and pests, measures to combat them]. Kyiv, 137–155 [in Ukrainian].

Podhayetsky, A.A. (2002). Henofond kartopli, yoho skladovi, kharakterystyka i stratehiya vykorystannya [The potato gene pool, its components, characteristics and usage strategy]. *Kartoplya [Potato]*, Kyiv, 1, 156–198 [in Ukrainian].

Podhayetsky, A.A., & Koval, N.D. (1988). Stvorenniya vykhidnoho materialu kartopli, stiykoho proty sukhoyi fuzarioznoyi hnyli [Creation of potato starting material resistant to Fusarium dry rot]. *Kartoplyarstvo [Potato farming]*, 19, 5–9 [in Ukrainian].

Polozhenets, V.M., Markov, I.A., Melnyk, P.O. (1994). Khvoroby i shkidnyky kartopli [Potato diseases and pests]. Zhytomyr: Polissya, P. 200 [in Ukrainian].

Sykalo, O.O., Movchan, O.M., Ustinov, I.D. (2005). Karantynni shkidlyvi orhanizmy [Quarantine pests]. Kyiv, 197–201 [in Ukrainian].

Chechitko, I.P. (2001). Vykorystannya henofondu kartopli dlya stvorenniya vykhidnoho selektsiynoho materialu, stiykoho proty sukhoyi fuzarioznoyi hnyli [Using the potato gene pool to create initial breeding material resistant to Fusarium dry rot: dissertation for the candidate of agricultural sciences: 06.01.05. Nemishayev, P. 157 [in Ukrainian].

Berger, A., Boscari, A., Frendo, P., Brouquisse, R. (2019). Nitric Oxide Signaling, Metabolism and Toxicity in Nitrogen-Fixing Symbiosis. *Journal of Experimental Botany*, 70, № 17, 39–55 [in English].

Camy, C., Dreyer, E., Delatour, C., Marçais, B. (2003). Responses of the Root Rot Fungus *Collybia Fusipes* to Soil Waterlogging and Oxygen Availability. *Journal Mycological Research*, 107, 1103–1109. <https://doi.org/10.1017/s095375620300830x> [in English].

Chung, H., Lee, H. (2020). Hypoxia: A Double-Edged Sword During Fungal Pathogenesis? *Journal Frontiers in microbiology*, 11, 111–119. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01920> [in English].

Francl, L.J. (2018). The Disease Triangle: A Plant Pathological Paradigm Revisited. *Plant Health Instr. American Journal of Molecular Biology*, № 8 (2), <https://doi.org/10.1094/PHI-T-2001-0517-01> [in English].

Geigenberger, P. (2003). Response of Plant metabolism to too little oxygen. *Current Opinion Plant Biology*, June, 247–256 [in English].

Geigenberger, P., Fernie, A., Gibon, Y., Christ, M., Stitt, M. (2000). Metabolic activity decreases as an adaptive response to low internal oxygen in growing potato tubers. *Journal of Biological Chemistry*, 381 (8), 723–740. <https://doi.org/10.1515/BC.2000.093> [in English].

Lake, J.A., Wade, R.N. (2009). Plant-Pathogen Interactions and Elevated CO₂: Morphological Changes in Favour of Pathogens. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 60, 231–245. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp147> [in English].

Lee, H.J., Park, J.S., Shin, S.Y., Kim, S.G., Lee, G., Kim, H.S., Jeon, J.H., Cho, H.S. (2020). Submergence Deactivates Wound-Induced Plant Defence against Herbivores. *Journal Communications Biology*, 3, 123–135 [in English].

Leisner, C.P., Potnis, N., Sanz-Saez, A. (2023). Crosstalk and trade-offs: Plant responses to climate change-associated abiotic and biotic stresses. *Journal Plant Cell Environ*, Vol. 46 (10), 2946–2963. <https://doi.org/10.1111/pce.14532> [in English].

Lisicka, W., Fikowicz-Krosko, J., Jafra, S., Narajczyk, M., Czaplewska, P., Czajkowski, R. (2018). Oxygen Availability Influences Expression of *Dickeya solani* Genes Associated with Virulence in Potato (*Solanum tuberosum* L.) and Chicory (*Cichorium intybus* L.). *Journal Frontiers in Plant Science*, 21 (9), 324–337. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00374> [in English].

Manik, S., Pengilley, G., Dean, G., Field, B., Shabala, S., Zhou, M. (2019). Soil and Crop Management Practices to Minimize the Impact of Waterlogging on Crop Productivity. *Journal Frontiers in Plant Science*, 10, 245–265. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00140> [in English].

Mansfield, J., Genin, S., Magori, S., Citovsky, V., Sriariyanum, M., Ronald, P., Dow, M., Verdier, V., Beer, S.V., Machado, M.A. (2012). Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. *Journal Molecular Plant Pathology*, 13 (6), 614–629. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2012.00804.x> [in English].

Mori, K., Beauvoit, B., Biais, B., Chabane, M., Allwood, J., Deborde, C., Maucourt, M., Goodacre, R., Cabasson, C., Moing, A., et al. (2019). Central Metabolism Is Tuned to the Availability of Oxygen in Developing Melon Fruit. *Journal Frontiers in Plant Science*, 10, 132–145. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00594> [in English].

Nawaz, M., Sun, J., Shabbir, S., Khattak, W.A., Ren, G., Nie, X., Bo, Y., Javed, Q., Sonne, C. (2023). A review of plants strategies to resist biotic and abiotic environmental stressors. *Journal Science of The Total Environment*, 9, 165–185 [in English].

Pan, J., Sharif, R., Xu, X., Chen, X. (2021). Mechanisms of Waterlogging Tolerance in Plants: Research Progress and Prospects. *Journal Frontiers in Plant Science*, 11, 78–89. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.627331> [in English].

Tang, G., Zhang, C., Ju, Z., Zheng, S., Wen, Z., Xu, S., Chen, Y., Ma, Z. (2018). The mitochondrial membrane protein Fg Letm1 regulates mitochondrial integrity, production of endogenous reactive oxygen species and mycotoxin biosynthesis in fusarium graminearum. *Journal Molecular Plant Pathology*, 19. <https://doi.org/10.1111/mpp.12633> [in English].

Tian, X., Zhang, C., Chen, L., Zhang, F., Li, J., Yan, F., Dong, Y., Feng, L. (2021). How Does the Waterlogging Regime Affect Crop Yield? A Global Meta-Analysis. *Journal Frontiers in Plant Science*, 12, 634898. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.634898> [in English].

Tromans, D. (1998). Temperature and Pressure Dependent Solubility of Oxygen in Water: A Thermodynamic Analysis. *Journal Hydrometallurgy*, 48, 327–342. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(98\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(98)00007-3) [in English].

Weits, A., Kunkowska, B., Kamps, W., Portz, S., Packbier, K., Nemec VENZA, Z., Gaillochet, C., Lohmann, U., Pedersen, O., et al. (2019). An apical hypoxic niche sets the pace of shoot meristem activity. *Journal Nature*. 569. pp. 714–717. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1203-6> [in English].

Zhou, A., Liu, J., Tian, Y., Chuan, J., Hu, B., Zou, J., Li, X. (2021). First Report of Dickeya fangzhongdai causing soft rot in Orchids in Canada. *Journal Plant Disease*, 23. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-21-0771-PDN> [in English].

Отримано: 31.01.2025

Прийнято: 17.02.2025



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 11
Український журнал природничих наук
№ 11

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

УДК 635.5:631.589.2

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.17>

ВПЛИВ СВІТЛОДІОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ НА ГОСПОДАРСЬКО-БІОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ САЛАТУ ПОСІВНОГО ТА ВАСИЛЬКІВ СПРАВЖНІХ

О. І. Куценко¹, І. А. Гаврись²

Світові тенденції вирощування овочевих культур невпинно крокують до все ширшого впровадження сучасних і енергоефективних технологій в овочівництві. Протягом останніх 5 років сучасні системи освітлення стають усе більш доступні українським виробникам овочів, а також ентузіастам, які пробують себе в цілорічному вирощуванні овочевих культур. Також в Україні починають з'являтися власні розробники та виробники світлодіодного освітлення для рослин, яке не поступається за характеристиками зарубіжним зразкам, а за ціною може бути набагато дешевше. Основною метою статті є проведення аналізу закордонного досвіду використання світлодіодного освітлення, його впливу на ріст і розвиток зеленних овочевих культур. Стаття покликана пролити світло на використання світлодіодного освітлення під час вирощування зеленних овочів у культивацийних спорудах закритого ґрунту, особливо щодо перспектив використання світлодіодного освітлення на вертикальних фермах і фабриках рослин.

У статті представлені результати вивчення наукових праць і статей зарубіжних науковців, які пов'язані із впливом світлодіодного освітлення на ріст і розвиток зеленних овочевих культур. Основна увага у статті приділена впливу світлодіодного освітлення на господарсько-біологічні показники зеленних культур за вирощування в контрольованих умовах закритого ґрунту. Також описано умови та комбінації освітлення, за яких можна досягти необхідних для виробництва показників готової продукції, яка в кінцевому підсумку може бути використана за різним цільовим призначенням. Так, наприклад, комбінація різного відсоткового співвідношення спектрів може допомогти наростити більшу біомасу рослини та навпаки, зменшити вагу біомаси і підвищити її генеративні спроможності. Усе це може свідчити про важливість і актуальність таких досліджень в Україні та світі.

Ключові слова: спектр, вплив, інтенсивність, освітлення, салат, базилік.

¹ здобувач наукового ступеня доктора філософії
кафедри овочівництва і закритого ґрунту
(Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ)
e-mail: kutsenkooleksand@ukr.net
ORCID: 0009-0004-9708-8674

² кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри овочівництва і закритого ґрунту
(Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ)
e-mail: havris@ukr.net
ORCID: 0000-0001-5965-9916

THE IMPACT OF LED LIGHTING ON THE AGRO-BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF LETTUCE AND BASIL

O. I. Kutsenko, I. L. Havrys

Global trends in vegetable growing are steadily moving towards the wider adoption of modern and energy-efficient technologies in vegetable production. Over the past 5 years, modern lighting systems have become increasingly available to Ukrainian vegetable growers and enthusiasts who are trying their hand at growing vegetables year-round. Also, Ukraine is starting to develop its own designers and manufacturers of LED lighting for plants that are not inferior in performance to foreign models, and can be much cheaper. The main purpose of this article is to analyse the foreign experience of using LED lighting and its impact on the growth and development of green vegetable crops. This article aims to shed light on the use of LED lighting in greenhouse cultivation of green vegetables, and especially on the prospects for using LED lighting in vertical farms and plant factories.

The article presents the results of the study of scientific papers and articles by foreign scientists related to the impact of LED lighting on the growth and development of green vegetable crops. The article focuses on the impact of LED lighting on the economic and biological indicators of green crops when grown in controlled indoor conditions. The article also describes under what conditions and with what combinations of lighting it is possible to achieve the indicators of finished products required for production, which can ultimately be used for various purposes. For example, a combination of different percentage ratios of spectra can help to increase the biomass of a plant and vice versa, reduce the weight of biomass and increase its generative capacity. All of this may indicate the importance and relevance of such research in Ukraine and the world.

Key words: spectrum, effect, intensity, lighting, lettuce, basil.

Вступ

У сучасному світі, який невпинно розвивається, важливим чинником щодо збільшення врожайності овочевих культур у спорудах із контрольованим середовищем є використання сучасних освітлювальних технологій, які цілком забезпечують рослини необхідною кількістю та якістю світла. Традиційне вирощування зеленних овочевих культур уже не задовольняє світовий попит на них, що зростає, а досвід коронавірусних обмежень показав, що вектор уваги зміщується на локальне вирощування у великих містах і мегаполісах. Локалізація виробництва продукції в містах спричиняє збільшення навантаження на енергомережу, як наслідок – потребує використання енергоощадних технологій без погіршення врожайності та якості продукції. Також одним з обмежувальних чинників локалізованого вирощування в містах є брак площі культивативної споруди, що спонукає виробників будувати виробництва не в ширину, а у висоту. За традиційного вирощування зеленних овочевих культур відповідати цим критеріям в умовах міста дуже важко або взагалі неможливо. Отже, ця проблема є актуальною у світових масштабах і в умовах енергетичної кризи в Україні. Зміна кліматичних умов призвела до більш стійких посух, повеней і штормів, а також до посилення активності шкідників і хвороб, які

створюють серйозну загрозу для сільського господарства. Потенційним вирішенням цієї проблеми є намагання використовувати сільське господарство в закритих і міських умовах, посилене належними умовами освітлення, як-от світлодіоди, таким чином усувати неврожаї, пов'язані з погодою (Nair & Dhoble, 2015).

Аналіз останніх досліджень в Україні показує, що основними напрямками досліджень із вирощування зеленних культур у закритому ґрунті є вивчення нових перспективних сортів, а також оптимізація класичних технологій вирощування зеленних культур. Використання світлодіодного освітлення в наукових дослідженнях зростає, проте в загальній масі частка таких досліджень усе ще низька. На жаль, велика вартість обладнання для таких досліджень не дозволяє науковцям повною мірою досліджувати це питання на високому рівні. Низька кількість досліджень впливу освітлення на рослини в овочівництві негативно впливає на розвиток цілорічного вирощування зеленних овочів у промислових масштабах. Безперечно, велику роль у згортанні розвитку відіграла війна Росії проти України. Проте нестача наукової бази та фахівців відіграє не менш важливу роль у розвитку цього напрямку вирощування та досліджень.

Основна маса досліджень в Україні спрямована на вдосконалення технологій вирощування

щування зеленних культур під час весняно-осіннього періоду, але повною мірою не розкриває вирощування зеленних культур у світлокультурі та вплив світлодіодного освітлення на ріст і розвиток рослин. Одними з найсвіжіших досліджень у цій тематиці є дослідження продуктивності різних сортів салату на гідропонії (Паламарчук і Михальчук, 2024). Також проведені дослідження з вирощування салатів різних типів на проточній гідропонії у плівковій теплиці з використанням органічних і мінеральних субстратів (Ковальов і Звездун, 2021). Ці дослідження є аналізом існуючих класичних прийомів вирощування зеленних овочів у теплицях.

Отже, можна зробити висновок, що вплив і використання світлодіодного освітлення під час вирощування овочевих культур вивчено не досить, що потребує подальших досліджень і вивчення досвіду закордонних наукових установ і організацій.

Мета дослідження – проаналізувати використання різних типів освітлення у вирощуванні салату посівного та васильків справжніх у культивацийних спорудах різних типів. Вплив освітлення на ріст і розвиток зеленних овочевих культур у контрольованих умовах вирощування.

Матеріал і методи

Дослідження проводилися за допомогою проведення аналізу наявних публікацій вітчизняних і закордонних науковців, а також аналізу досліджень приватних компаній, які спеціалізуються на вирощуванні овочів під штучним освітленням. Опрацьовувалися табличні та графічні дані, а також аналізувалися висновки досліджень. Основним у пошуку й аналізі було виявлення результатів, які можна було б застосувати у практичній площині на виробництві.

Результати й обговорення

Світло є дуже важливим джерелом енергії для рослин, забезпечує їх синтезом усіх необхідних речовин під час фотосинтезу. Видиме світло складається з безлічі різних спектрів із різною довжиною хвилі, проте основні спектри, які беруть участь у процесах фотосинтезу, лежать у межах 400–700 нм. Останнім часом у світі починає з'являтися все більше і більше публікацій, спрямованих на глибше дослідження спектрів за межами 400 і 700 нм. Проте основна увага зараз сфокусована саме на дослідженнях у межах 400–700 нм, оскільки оцінити вплив того чи того освітлення в цих межах простіше, без використання занадто доро-

гого обладнання для вимірів. Дані довжини хвиль широко представлені як у повноспектральних світлодіодних фітолампах, так і в бікolorних лампах. У повноспектральних лампах, окрім основних довжин хвиль у 450 нм синього спектра та 660 нм червоного, також представлені інші спектри, як-от зелений, з довжиною хвилі 520 нм. Останніми роками на передній план почали виходити дослідження із впливу зеленого спектра на ріст і розвиток рослин, оскільки він має найбільшу проникну здатність серед інших спектрів, здатен збуджувати хлорофіл на досить великій глибині в середині листка. Зокрема, світловим спектром світла тепер можна керувати за допомогою світлодіодних освітлювальних матриць, з використанням спеціального програмного забезпечення (Alrajhi et al., 2023).

Червоний і синій спектри, з довжиною хвилі 660 нм для червоного та 450 нм для синього, в освітленні є найважливішими спектрами для рослин, оскільки їхня відносна квантова енергія та вплив на активні процеси фотосинтезу, отже, і кращий вплив на ростові процеси в рослинах, набагато вищі, ніж в інших спектрів, які видимі для ока людини (McCree, 1971; Stutte, 2009). Багато світових досліджень присвячують впливу співвідношення червоного і синього спектрів на ріст різних овочевих культур (томат, огірок, зеленні овочі), зокрема й салату посівного, який є основним видом рослин, що вирощуються в умовах контрольованого клімату з використанням енергоєфективного світлодіодного освітлення. Хоча для росту салату не було створено уніфікованого й оптимального співвідношення червоного і синього спектрів освітлення, через різні сорти та чинники навколишнього середовища, більшість досліджень, які проводилися, показали, що світловий потік, у якому переважає червоний спектр світла з довжиною хвилі 660 нм (його частка може становити залежно від умов вирощування 75~90%), є максимально сприятливим для активного наростання біомаси салату посівного за стандартного та нормального фотоперіоду для даної культури (Core et al., 2014; Wang et al., 2016). За результатами проведеного аналізу опублікованих праць і дисертаційних робіт було встановлено, що спектральна складова частина освітлення відіграє важливу роль у формуванні врожаю зеленних культур, особливо культур, у яких у їжу вживається зелена маса рослини. Завдяки спектру виробники можуть

регулювати якість і кількість урожаю, який вони вирощують.

Так, у разі додаткового освітлення різних видів салату листкового комбінаціями різних спектрів із різним співвідношенням, а саме – синього, червоного, синього та червоного, синьо-червоно-зеленого, було виявлено покращення деяких, досить важливих, показників у виробництві. Це дало змогу збільшити площу листової поверхні першого ряду листків на 36, 30, 33% порівняно з контрольним варіантом (Chen et al., 2023). Збільшення площі листової пластини може свідчити про потенційно більшу зелену масу зібраного врожаю з одиниці площі. Це збільшує економічну ефективність виробництва. Також використанням додаткового нижнього (освітлення розміщується знизу під листками першого ряду) та верхнього освітлення можна забезпечити зменшення старіння рослин, а також збільшити економічну ефективність вирощування салату на вертикальних фермах. Збільшення витрат на додаткове освітлення дозволило збільшити об'єм товарного салату на 12,7 і 27,1%. Також використанням додаткового нижнього освітлення вдалося збільшити вихід товарного салату на 35,4%, завдяки зменшенню відходів (Joshi et al., 2017). Також на кінцеву врожайність досить сильно впливає інтенсивність світ-

лового потоку. Так, кількість листків салату на одній рослині може бути більша в разі вирощування під спеціальним світлодіодним освітленням, ніж кількість листків на рослинах, які вирощені під денним світлом, за однаковий проміжок часу (Miao et al., 2023). У разі збільшення інтенсивності освітлення рослин салату збільшується кількість листків на рослині, що свідчить про позитивну реакцію рослин на більшу інтенсивність освітлення та краще поглинання поживних речовин. Проте іноді рослини салату можуть переходити у стадію цвітіння раніше, ніж це потрібно на виробництві (Miao et al., 2023). Такі зміни можуть бути пов'язані з надмірним перегрівом рослин через сильну інтенсивність у період їх активного росту. Такі чинники можуть впливати на пришвидшення деяких фаз розвитку рослин. Наприклад, у разі короткочасної експозиції базилика під ультрафіолетовим світлом UV-A збільшився вміст фенолів у зелених сортах на 170%, а в темних (фіолетових) сортів – на 16%. Також на рис. 1, 2, які наведені нижче, можна добре помітити різницю в рослинах віком 20 днів залежно від обробки рослин різними спектрами освітлення з різним часом експозиції (рис. 1, 2). На зображеннях представлені сорти салату посівного та васильків справжніх (Pacak et al., 2024).



Рис. 1. Морфологія 20-денних рослин салату листкового (*Lactuca sativa* var. *crispa* L.) із зеленим листям (cv. Lollo Bionda, LB) та червоним листям (cv. Lollo Rossa, LR), які були вирощені під дією ламп зі спектром RGB (C, контроль) або RGB + UV-A (з додаванням UV-A)

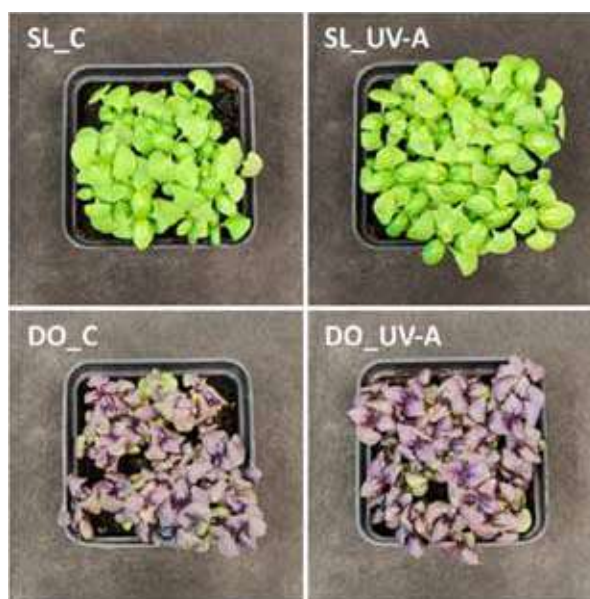


Рис. 2. Морфологія 20-DAS рослин базиліку (*Ocimum basilicum* L.) із зеленим (cv. Sweet Large, SL) та фіолетовим листям (cv. Dark Opal, DO), які були вирощені під дією ламп зі спектром RGB (C, контроль) або RGB + UV-A (з додаванням UV-A)

Отже, можна дійти висновку, що для вирощування салату посівного важливим є не тільки спектральний склад освітлення, його енергоефективність, а ще й інтенсивність освітлення. Оскільки, виходячи з наведених вище даних, за визначених умов і використання правильної схеми освітлення можна досягти економії енергетичних ресурсів без втрати показників урожайності та якості кінцевої продукції.

Також однією з популярних зеленних культур, які вирощуються на вертикальних фермах, є базилік. Базилік став популярним через свої високі кулінарні й ароматичні якості. Вирощування базиліку на вертикальних фермах є досить рентабельним, особливо в зимовий період. Так само, як рослини салату посівного, рослини базиліку дуже добре реагують на зміну інтенсивності освітлення. У разі збільшення інтенсивності освітлення базилік показував лінійну або квадратичну зміну показників (рис. 3) залежно від умов і вибраних сортів (Larsen et al., 2020).

Регуляція співвідношення різних спектрів в освітленні під час вирощування базиліку дозволяє отримувати врожай різної якості, залежно від попиту споживачів і виробництва. Використання світлодіодних ламп із бікolorним виконанням (поєднання у визначеній пропорції червоних і синіх світлодіодів), 8 або 32% синього світла дозволило отримати продукцію, яка

краще підходить для продажу в пучках. А використання в загальному спектрі 16% синього світла дозволило отримати продукцію, яку вигідніше продавати на вагу. Рослини, вирощені з використанням 16% синього спектра, мали більшу середню вагу. Також використання 32% синього світла підвищує смакові якості базиліку (Yelton et al., 2017). Покращення смакових властивостей базиліку особливо важливо для ресторанів і кафе. Адже свіжий базилік часто використовується для приготування свіжих соусів і різноманітних салатів. Також поліпшення смакових властивостей дозволить покращити смакові властивості готових спецій, як-от базилік сушений. Дані порівняння морфологічних показників залежно від комбінації різних спектрів наведені на рисунку (рис. 4).

Також було встановлено негативний вплив на рослини базиліку збільшення інтенсивності за зменшення довжини світлового дня. Проте також було з'ясовано, що в разі зменшення інтенсивності та збільшення довжини світлового дня рослини базиліку позитивно реагували на такі зміни – збільшенням об'єму зеленої маси. Таке явище називають фотоінгібуванням, коли рослина не здатна засвоїти більш інтенсивні світлові потоки (Eghbal et al., 2024).

Висновки

Натепер в Україні майже відсутні дослідження, пов'язані з використанням і впливом

Experiment	Cultivar	Treatment	LUE (g mol ⁻¹)			
			Plant fresh mass	Plant dry mass		
Experiment 1 PPFD	Emily	PPFD (μmol m ⁻² s ⁻¹)				
		50	10.92 ± 0.39c	0.84 ± 0.03a		
		150	10.63 ± 0.39bc	0.91 ± 0.03a		
		300	9.33 ± 0.39ab	0.92 ± 0.03a		
		600	8.31 ± 0.39a	1.04 ± 0.03b		
		50	8.92 ± 0.26b	0.55 ± 0.03a		
		150	10.82 ± 0.26c	0.74 ± 0.03b		
		300	9.62 ± 0.26b	0.79 ± 0.03bc		
		600	7.60 ± 0.26a	0.83 ± 0.03c		
Experiment 2 Blue light fraction	Dolly	days	Blue light (%)			
		5	9	9.01 ± 0.65	0.71 ± 0.06	
			33	8.40 ± 0.65	0.65 ± 0.06	
			65	7.52 ± 0.65	0.61 ± 0.06	
			100	7.73 ± 0.65	0.56 ± 0.06	
		25	9	9.01 ± 0.65	0.71 ± 0.06	
			33	9.27 ± 0.65	0.69 ± 0.06	
			65	9.40 ± 0.65	0.70 ± 0.06	
100	8.12 ± 0.65		0.62 ± 0.06			
Experiment 3 Blue light interaction PPFD	Floee	PPFD (μmol m ⁻² s ⁻¹)	Blue light (%)			
		100	9	5.12 ± 0.40	0.35 ± 0.04	
		100	90	6.01 ± 0.40	0.42 ± 0.04	
		300	9	5.09 ± 0.40	0.37 ± 0.04	
		300	90	5.75 ± 0.40	0.41 ± 0.04	
		Dolly	100	9	10.8 ± 0.27	0.66 ± 0.02a
			100	90	11.31 ± 0.27	0.68 ± 0.02a
			300	9	11.03 ± 0.27	0.78 ± 0.02b
300	90		11.00 ± 0.27	0.73 ± 0.02b		

LUE is based on PPFD incident on the plants accumulated over the initial (i.e., from transplant until start of treatments) and treatment phase. Letters indicate significant differences.

Рис. 3. Показники врожайності різних сортів базилика залежно від спектрального складника

Light treatment	Averages			
	Height (cm)	Total weight (g)	Stem diameter (mm)	Number of branches
0% Blue, 0B:20W:230R	55.32	62.93	6.48	18.07
8% Blue, 20B:20W:210R	59.29	69.34	7.08	16.17
16% Blue, 40B:20W:190R	60.01	78.93	7.55	15.59
24% Blue, 60B:20W:170R	62.29	76.97	6.67	16.19
32% Blue, 80B:20W:150R	60.13	72.50	6.67	17.73

TABLE 2: Average height, weight, diameter and number of branches taken after 63 days.

Рис. 4. Співвідношення показників наростання зеленої маси, висоти рослин, ваги рослин залежно від співвідношення різних довжин хвиль у спектрі освітлення

світлодіодного освітлення на зеленні, а саме на салат посівний і васильки справжні. Як видно з аналізу наукових робіт і статей, світлодіодне освітлення відіграє важливу роль у вирощуванні овочевих культур у сучасному світі. Завдяки світлодіодному енергоефективному освітленню можна досягати необхідних параметрів урожайності рослин салату посівного та васильків справжніх. Навіть більше, це не тільки дозволяє підвищити

якість і поживні властивості овочів, а і збільшити врожайність за зменшення витрат на виробництво та збільшення економічної ефективності виробництва. Покращення економічних показників виробництва дозволить підприємству спрямувати зароблені кошти на розвиток виробництва, а також на вдосконалення наявних потужностей, збільшення заробітних плат тощо. Також за допомогою світлодіодного освітлення і комбінації

різних типів світлодіодів із різним спектром можна отримувати рослини з необхідними морфологічними та якісними показниками, залежно від потреб. Усе це дозволить мінімізувати витрати, покращити якість продукції, яку отримає кінцевий споживач, і знизити негативний вплив на навколишнє середовище завдяки більш економному використанню природних ресурсів.

Тому нині надважливо зосередити свої зусилля на розширенні досліджень у сфері світлодіодного освітлення, впливу його на

рослини. Адже такого типу дослідження допоможуть розвивати не тільки агрономічну науку в галузі овочівництва закритого ґрунту, а й інші галузі, які можуть бути дотичними до цього. Особливо галузі напівпровідникового виробництва, а також виробництва електроніки.

Для отримання максимального врожаю від рослин, вирощених в умовах із контрольованим мікрокліматом, особливо в комерційному вирощуванні культур, необхідно оптимізувати умови освітлення.

Список використаної літератури

Ковальов М.М., Звездун О.М. Вирощування найпоширеніших сортів салату ромен на різних типах субстратів у NFT системах. Водні біоресурси та аквакультура. 2021. Ч. 1. С. 15–22. <https://doi.org/10.32851/wba.2021.1.3>.

Паламарчук І.І., Михальчук А.Я. Особливості росту та розвитку рослин салату посівного за гідропонного вирощування. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2024. Ч. 20. С. 1–5. [http://doi.org/10.31548/dopovidi.2\(108\).2024.012](http://doi.org/10.31548/dopovidi.2(108).2024.012).

Alrajhi A.A., Alsahli A.S., Alhelal I.M., Rihan H.Z., Fuller M.P., Alsadon A.A., Ibrahim A.A. The effect of LED light spectra on the growth, yield and nutritional value of red and green lettuce (*Lactuca sativa*). *Plants*. 2023. Vol. 12. № 463. <https://doi.org/10.3390/plants12030463>.

Chen R., Wang Z., Liu W., Ding Y., Zhang Q., Wang S. Side Lighting of Red, Blue and Green Spectral Combinations Altered the Growth, Yield and Quality of Lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. "Yidali") in Plant Factory. *Plants*. 2023. Vol. 12. № 4147. <https://doi.org/10.3390/plants12244147>.

Cope K.R., Snowden M.C., Bugbee B. Photobiological interactions of blue light and photosynthetic photon flux: effects of monochromatic and broad-spectrum light sources. *Photochemistry and Photobiology*. 2014. Vol. 90 (4). P. 574–584. <https://doi.org/10.1111/php.12233>.

Eghbal E., Aliniaiefard S., Mehrjerdi M.Z., Abdi S., Hassani S.B., Rassaie T., Nazim S. Growth, phytochemical, and phytohormonal responses of basil to different light durations and intensities under constant daily light integrals. *BMC Plant Biology*. 2024. T. 24. № 935. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05637-w>.

Joshi J., Zhang, G., Shen S., Supaibulwatana K., Watanabe C.K., Yamori W. A combination of downward lighting and supplemental upward lighting improves plant growth in a closed plant factory with artificial lighting. *HortScience*. 2017. Vol. 52. № 6. P. 831–835 [Електронний ресурс]. URL: <https://mahidol.elsevierpure.com/en/publications/a-combination-of-downward-lighting-and-supplemental-upward-lighting/> (дата звернення: 10.08.2024).

Larsen D.H., Woltering E.J., Nicole C.C.S., Marcelis L.F.M. Response of basil growth and morphology to light intensity and spectrum in a vertical farm. *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 11. Article 597906. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.597906>.

McCree K.J. The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agricultural Meteorology*. 1971. Vol. 9. P. 191–216. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(71\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0002-1571(71)90022-7).

Miao C., Yang S., Xu J., Wang H., Zhang Y., Cui J., Zhang H., Jin H., Lu P., He L. et al. Effects of light intensity on growth and quality of lettuce and spinach cultivars in a plant factory. *Plants*. 2023. Vol. 12. Article 3337. <https://doi.org/10.3390/plants12183337>.

Nair B.G., Bhoble S.J. A perspective perception on the applications of light-emitting diodes. *Luminescence*. 2015. № 30. P. 1167–1175. <https://doi.org/10.1002/bio.2919>.

Pacak I., Trojak M., Skowron E. The use of UV-A radiation for biofortification of lettuce and basil plants with antioxidant phenolic and flavonoid compounds. *Folia Biologica et Oecologica*. 2024. Vol. 18. P. 110–121.

Stutte G.W. Light-emitting diodes for manipulating the phytochrome apparatus. *Dynamac Corporation, Space Life Sciences Laboratory*. Mail Code DYN-3. Kennedy Space Center. FL 32899, 2009.

Wang J., Lu W., Tong Y., Yang Q. Leaf morphology, photosynthetic performance, chlorophyll fluorescence, stomatal development of lettuce (*Lactuca sativa* L.) exposed to different ratios of red light to blue light. *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. Article 250. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00250>.

Yelton M., Byrtus J., Chan G. Better tasting basil grown with LED lighting technology. *LumiGrow Inc.* Emeryville, CA. 2017. P. 50.

References

- Kovalov, M.M., & Zvezdun, O.M. (2021). Vyroshchuvannya nayposhyrenishykh sortiv salatu romen na riznykh typakh substrativ v NFT systemakh [Cultivation of the most common romaine lettuce varieties on different types of substrates in NFT systems]. *Vodni bioresursy ta akvakultura* [Water Bioresources and Aquaculture], 1, 15–22. <https://doi.org/10.32851/wba.2021.1.3> [in Ukrainian]
- Palamarchuk, I.I., & Mykhalchuk, A.Ya. (2024). Osoblyvosti rostu ta rozvytku roslyn salatu posivnoho za hydroponnoho vyroshchuvannya [Features of growth and development of lettuce plants (*Lactuca sativa*) under hydroponic cultivation]. *Naukovi dopovidi NUBiP* [Scientific Reports of NUBiP]. [https://doi.org/10.31548/dopovidi.2\(108\).2024.012](https://doi.org/10.31548/dopovidi.2(108).2024.012) [in Ukrainian].
- Alrajhi, A.A., Alsahli, A.S., Alhelal, I.M., Rihan, H.Z., Fuller, M.P., Alsadon, A.A., & Ibrahim, A.A. (2023). The effect of LED light spectra on the growth, yield and nutritional value of red and green lettuce (*Lactuca sativa*). *Plants*, 12 (463). <https://doi.org/10.3390/plants12030463> [in English].
- Chen, R., Wang, Z., Liu, W., Ding, Y., Zhang, Q., & Wang, S. (2023). Side lighting of red, blue, and green spectral combinations altered the growth, yield, and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. “Yidali”) in plant factory. *Plants*, 12 (4147). <https://doi.org/10.3390/plants12244147> [in English].
- Cope, K.R., Snowden, M.C., & Bugbee, B. (2014). Photobiological interactions of blue light and photosynthetic photon flux: Effects of monochromatic and broad-spectrum light sources. *Photochemistry and Photobiology*, 90 (4), 574–584. <https://doi.org/10.1111/php.12233> [in English].
- Eghbal, E., Aliniaiefard, S., Mehrjerdi, M.Z., Abd, S., Hassani, S.B., Rassaie, T., & Nazim, S. (2024). Growth, phytochemical, and phytohormonal responses of basil to different light durations and intensities under constant daily light integra. *BMC Plant Biology*, 24 (935). <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05637-w> [in English].
- Joshi, J., Zhang, G., Shen, S., Supaibulwatana, K., Watanabe, C.K., & Yamori, W. (2017). A combination of downward lighting and supplemental upward lighting improves plant growth in a closed plant factory with artificial lighting. *HortScience*, 52 (6), 831–835. [Electronic resource] URL: <https://mahidol.elsevierpure.com/en/publications/a-combination-of-downward-lighting-and-supplemental-upward-lighti> (access date 10.08.2024) [in English].
- Larsen, D.H., Woltering, E.J., Nicole, C.C.S., & Marcelis, L.F.M. (2020). Response of basil growth and morphology to light intensity and spectrum in a vertical farm. *Frontiers in Plant Science*, 11, Article 597906. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.597906> [in English].
- McCree, K.J. (1971). The action spectrum, absorptance, and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agricultural Meteorology*, 9, 191–216. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(71\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0002-1571(71)90022-7) [in English].
- Miao, C., Yang, S., Xu, J., Wang, H., Zhang, Y., Cui, J., Zhang, H., Jin, H., Lu, P., & He, L., et al. (2023). Effects of light intensity on growth and quality of lettuce and spinach cultivars in a plant factory. *Plants*, 12, Article 3337. <https://doi.org/10.3390/plants12183337> [in English].
- Nair, B.G., & Bhoble, S.J. (2015). A perspective perception on the applications of light-emitting diodes. *Luminescence*, 30, 1167–1175. <https://doi.org/10.1002/bio.2919> [in English].
- Pacak, I., Trojak, M., & Skowron, E. (2024). The use of UV-A radiation for biofortification of lettuce and basil plants with antioxidant phenolic and flavonoid compounds. *Folia Biologica et Oecologica*, 18, 110–121 [in English].
- Stutte, G.W. (2009). Light-emitting diodes for manipulating the phytochrome apparatus. *Dynamac Corporation, Space Life Sciences Laboratory, Mail Code DYN-3, Kennedy Space Center, FL* [in English].
- Wang, J., Lu, W., Tong, Y., & Yang, Q. (2016). Leaf morphology, photosynthetic performance, chlorophyll fluorescence, stomatal development of lettuce (*Lactuca sativa* L.) exposed to different ratios of red light to blue light. *Frontiers in Plant Science*, 7, Article 250. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00250> [in English].
- Yelton, M., Byrtus, J., & Chan, G. (2017). Better tasting basil grown with LED lighting technology. *LumiGrow Inc.*, Emeryville, CA, 50 p. [in English].

Отримано: 17.01.2025

Прийнято: 31.01.2025



УДК 628.1 (477.72)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.18>

ЕФЕКТИВНІСТЬ КОМПЛЕКСНОГО УДОБРЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ

О. О. Ласло¹, Р. В. Олєпир²

У статті висвітлено аналіз та підтвердження результатів наукових досліджень стосовно позакореневого підживлення кукурудзи, що є ефективними для забезпечення рослин елементами живлення протягом вегетаційного сезону. Зазначено, що за листового підживлення макро- і мікроелементи потрапляють до рослинного організму і швидко включаються в синтез органічних речовин, надходять до інших органів рослини, беруть участь у процесах метаболізму і надалі впливають на врожайність середньостиглих гібридів (ФАО 320). У статті описано дослідження з вивчення впливу КАС і мікродобрив на продуктивність гібридів кукурудзи за позакореневого підживлення у фазі 3–5 листків кукурудзи. Дослідженнями встановлено, що, окрім макроелементів, кукурудза також потребує значної кількості мікроелементів, засвоєння яких варіюється залежно від конкретного етапу росту та розвитку рослини. Саме поєднання КАС з Авангард Кукурудза та Мікро-Мінераліс сприятиме розкриттю генетичного потенціалу кукурудзи ФАО 320 та підвищенню врожайності. У результаті використання сумішньої добрив площі листової поверхні на варіанті Авангард Р Кукурудза, де відзначили найвищі показники, була на 0,6 тис. м²/га вища за контроль, на варіанті з Мікро-Мінераліс (Кукурудза) показники суттєво не відрізнялися від показника контролю і перевищили його лише на 0,3 тис. м²/га. Кількість качанів збільшувалася на варіанті із застосуванням мікродобрива Авангард Р Кукурудза. Маса качана на варіанті 2 перевищила контроль на 5 г, у варіанті 3 – на 2 г. Маса 1 000 зерен на варіантах 2 і 3 перевищувала контроль на 7–9 г. Результати досліджень підтверджують, що позакореневе підживлення КАС і мікродобривами сприяє збільшенню висоти рослин, покращенню біометричних характеристик і підвищенню якості врожаю. Урожайність гібрида кукурудзи на варіанті контролю становила 8,3 т/га, що на 0,29 т/га нижча за показник у варіанті 2 (КАС + Мікро-Мінераліс (Кукурудза)); у варіанті 3 (КАС + Авангард Р Кукурудза) показник продуктивності вищий від контролю на 0,97 т/га. Результати досліджень дають підставу рекомендувати до застосовування оброблення посівів у ключові етапи розвитку рослин (фаза 3–5 листків кукурудзи), узгоджуючи її з фізіологічними потребами культури. Для цього необхідно враховувати конкретний дефіцит мікроелементів з урахуванням індивідуальних властивостей ґрунту та рівня удобрення, тому для гібридів

¹ кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри землеробства і агрохімії імені В.І. Сазанова
(Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава)
e-mail: oksana.laslo@pdau.edu.ua
ORCID: 0000-0002-0101-4442

² кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри землеробства і агрохімії імені В.І. Сазанова
(Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава)
e-mail: roman.olepir@pdau.edu.ua
ORCID: 0000-0002-0825-7914

кукурудзи ФАО 320 рекомендовано композицію КАС + Авангард Р Кукурудза для позакореневого підживлення, що сприяє підвищенню врожайності та рентабельності культури.

Ключові слова: кукурудза, КАС, мікродобрива, позакореневе підживлення, урожайність.

EFFECTIVENESS OF COMPLEX FERTILIZATION IN CORN CULTIVATION TECHNOLOGY

O. O. Laslo, R. V. Olepir

The article highlights the analysis and confirmation of the results of scientific research on foliar feeding of corn, which are effective in providing plants with nutrients during the growing season. It was noted that during foliar feeding, macro- and microelements enter the plant organism and are quickly included in the synthesis of organic substances, reach other plant organs, participate in metabolic processes and subsequently affect the yield of medium-ripe hybrids (FAO 320). The article describes a study of the influence of KAS and microfertilizers on the productivity of corn hybrids with foliar fertilization in the phase of 3–5 corn leaves. Research has established that in addition to macronutrients, corn also needs a significant amount of micronutrients, the assimilation of which varies depending on the specific stage of growth and development of the plant. It is the combination of the urea-ammonia mixture with Avangard Corn and Micro Mineralis that will contribute to revealing the genetic potential of FAO 320 corn and increasing productivity. When using the approved mixtures, the leaf surface area on the variant Avangard R Maize, where the highest indicators were noted, was 0.6 thousand m²/ha higher than the control, on the variant with Micro-Mineralis (Maize) the indicators did not significantly differ from the control indicator and exceeded it is only 0.3 thousand m²/ha. The number of cobs increased on the variant with the use of microfertilizer Avangard R Corn. The weight of the cob in option 2 exceeded the control by 5 g, in option 3 by 2 g. The weight of 1 000 grains on options 2 and 3 exceeded the control by 7–9 g. Research results confirm that foliar fertilizing with a urea-ammonia mixture and microfertilizers contributes to the growth of plant height, improvement of biometric characteristics, and increase in crop quality. The yield of the corn hybrid on the control option was 8,3 t/ha, which is 0,29 t/ha lower than the indicator in option 2 (Micro-Mineralis (Corn)); in option 3 (Avangard R Corn) the productivity indicator is higher than the control on 0,97 t/ha. The results of the research give reason to recommend that crop treatment should be applied at the key stages of plant development (phase 3–5 leaves of corn), harmonizing it with the physiological needs of the crop. For this, it is necessary to take into account the specific deficiency of trace elements, taking into account the individual properties of the soil and the level of fertilization, therefore, for hybrids of FAO 320 corn, a composition with a urea-ammonia mixture + Avangard R Corn for foliar feeding is recommended, which contributes to increasing the yield and profitability of the crop.

Key words: corn, urea-ammonia mixture, microfertilizers, foliar feeding, productivity.

Вступ

Досягнення продовольчої безпеки за виробництва зерна є основним завдання сільського господарства в Україні, у вирішенні якого важлива роль відведена кукурудзі, яка є однією з найпродуктивніших культур. Для збільшення виробництва зерна цієї культури та сприяння надійній стабільності зернового виробництва велике значення має збалансована й науково обґрунтована система удобрення, що поєднує застосування макро- та мікродобрив (Гангур, 2021; Маренич та ін., 2024).

Дослідження науковців неодноразово довели ефективність використання в технологіях вирощування зернових культур, зокрема і кукурудзи на зерно, мікродобрив, що забезпечують підвищення імунітету рослин, їхню

стресостійкість, позитивно впливають на врожайність культури (Hanhur et al., 2021).

Вплив мікродобрив на біохімічні процеси в рослинах кукурудзи дуже великий, оскільки нестача будь-якого з мікроеlementів може призвести до зниження кількісних і якісних показників майбутнього врожаю.

Кукурудза як культура тривалого вегетаційного періоду засвоює поживні речовини із ґрунту впродовж усього життєвого циклу, на відміну від більшості зернових, тому потребує посиленого мінерального живлення, зокрема й гуміновими препаратами, аж до визрівання врожаю. Макроеlementи рослини кукурудзи використовують до фази викидання волоті (Marenych et al., 2019; Паламарчук і Демчук, 2021).

Актуальності й ефективності застосування макро- та мікродобрив у технології вирощування зернових культур приділяється значна увага впродовж тривалого часу, оскільки питання забезпечення мікроелементами викликає особливий інтерес в аграріїв (Грабовський та ін., 2021; Marenych et al., 2024). Фізіологічна роль мікродобрив у технологіях вирощування агрокультур пов'язана з економічною доцільністю й ефективністю їх внесення, мінливістю елементів індивідуальної продуктивності, адже мікроелементи сприяють підвищенню коефіцієнта використання та засвоєння внесених добрив, що в підсумку приводить до підвищення економічної ефективності їх застосування (Кулик та ін., 2022).

Проблематика використання мікродобрив загострюється в результаті переходу на інтенсивніші технології вирощування культур, зменшення родючості ґрунтів, їхньої здатності забезпечувати рослини поживними речовинами, унаслідок поширення ерозій, зменшення частки органічних добрив у технологіях тощо (Лень, 2021).

Нині одним із важливих чинників підвищення врожайності та якості зернової продукції за умов використання інтенсивних технологій є мікроелементи, у зв'язку зі збільшенням їх виносу врожаєм основної та побічної продукції, відсутністю органічних добрив тваринного походження в системі удобрення кукурудзи. До мікроелементів, які необхідні рослинам кукурудзи, належать такі: молібден, кобальт, бор, цинк, залізо, марганець, мідь. Важливим чинником, який впливає на процеси росту та розвитку рослин кукурудзи, є наявність фітогормонів, які виробляються в рослинах і регулюють їхні ростові процеси (Лень, 2021).

Науковими і польовими дослідженнями доведено, що такі елементи технології вирощування, як макро- і мікродобрива, є необхідними компонентами системи удобрення сільськогосподарських культур, а їх відсутність у ґрунті впливає на можливості агрокультур давати високий урожай.

Ефективним чинником впливу на врожайність і якість зерна кукурудзи є система удобрення. Рослини кукурудзи споживають за вегетаційний період незначну кількість мікроелементів, проте останні відіграють важливу роль в отриманні високих урожаїв, як і макроелементи. Дефіцит будь-якого елемента живлення може бути обмежувальним чинником у підвищенні продуктивності кукурудзи різних груп стиглості, її врожай-

ності (Гангур, 2021, Юрченко та ін., 2022а, 2022б).

Мікроелементи бор, молібден, кобальт, марганець, мідь, цинк рослини потребують у невеликих кількостях, тому мінеральні добрива, які містять ці елементи, називають мікродобривами. Ці мікроелементи необхідні для росту та розвитку рослин і виконують важливі фізіологічно-біологічні функції.

Мікроелементи входять у склад вітамінів, беруть участь в азотному та вуглеводному обміні, в окисно-відновних процесах, підсилюють процес фотосинтезу ферментів або активують їх роботу; підвищують проникність клітинних мембран, впливають на фізичні властивості, структуру і фізіологічні функції рибосом; сприяють підвищенню стійкості рослин до грибкових і бактеріальних збудників хвороб, стресових умов зовнішнього середовища (Kolishnyk, 2020; Павліченко, 2022).

У підготовці насіння кукурудзи до сівби керуються такими нормами якості, як: типовість 98%, схожість не менше 92%, чистота не менше 98%.

Ефективним способом застосування мікродобрив є передпосівна обробка насіння. Існують різні форми мікроелементів для передпосівної обробки – комплексонати – Fe, Cu, Co, Mo, Mn, Zn. Вони сумісні із протруйниками, нетоксичні, мають підсилювальні захисні властивості. Комплексонати мікроелементів активізують гідроліз запасних білків, вуглеводів, жирів, реакції окислювально-відновного характеру, стимулюють проростання насіння, підвищують його життєздатність і польову схожість, прискорюють ріст надземної біомаси та кореневої системи (Bagrintseva, 2021; Юрченко, 2022а, 2022б;).

Саме позакореневі підживлення кукурудзи є ефективними для забезпечення рослин макро- та мікроелементами протягом вегетаційного сезону. За листового підживлення макро- та мікроелементи потрапляють до рослинного організму, швидко включаються в синтез органічних речовин, надходять до інших органів рослини, беруть участь у процесах метаболізму (Biswas & Ma, 2016).

Мета досліджень – з'ясувати вплив позакореневого внесення добрив на врожайність гібридів кукурудзи ФАО 320 в умовах Лісостепу України. Завдання дослідження – дослідити вплив системи удобрення (КАС + мікродобрива) на врожайність середньостиглих гібридів кукурудзи.

Матеріал і методи

Дослідження з вивчення впливу КАС і мікродобрив на продуктивність гібридів кукурудзи проводили на території агропідприємства, що розташоване в зоні Центрального Лісостепу, у 2022–2024 рр. У досліді вирощували середньостиглі гібриди кукурудзи ФАО 320 (Монсанто) – ДКС 3939 (посухостійкий, толерантний до збудників хвороб, висока енергія стартового росту й адаптивні властивості), ДКС 3811 (холодота посухостійкий, толерантний до збудників хвороб, висока пластичність). Основне удобрення під кукурудзу після збору пшениці озимої не проводили, тому було ухвалено рішення внести карбомідно-аміачну суміш разом із мікродобривами у фазу 3–5 листків кукурудзи.

КАС (N32) – забезпечує пролонговане живлення азотом, не містить аміаку, застосовують у бакових композиціях із добривами та пестицидами, застосовували для позакореневого підживлення в нормі 50 кг/га.

Авангард Кукурудза – застосовували в період вегетації кукурудзи для листового підживлення; склад: N – 55, K – 10, S – 128, Mg – 50, Fe – 5, Mn – 5, Cu – 3, Zn – 20, B – 4, Mo – 0,1, Co – 0,1 г/л. Норма препарату – 2 л/га.

Мікро-Мінераліс (Кукурудза) – містить макро- та мікроелементи: N – 4, Mg – 2,5, Mn – 1,78, Cu – 0,75, Fe – 2, Zn – 3,1, B – 0,5 монійно-карбоксилатних комплексонів, %; застосовували в період вегетації куку-

рудзи для листового підживлення у фазі 3–5 справжніх листків у нормі 1,5 л/га.

Попередником кукурудзи в досліді була пшениця озима. Повторність досліду триразова, загальна площа ділянки становить 450 м², облікова площа – 50 м².

Результати

Кукурудза належить до культур із тривалим вегетаційним періодом і може ефективно засвоювати поживні речовини через підживлення протягом усього життєвого циклу. Окрім макроелементів, вона також потребує значної кількості мікроелементів, засвоєння яких варіюється залежно від конкретного етапу росту та розвитку рослини. Саме поєднання КАС з Авангард Кукурудза та Мікро-Мінераліс сприятиме розкриттю генетичного потенціалу кукурудзи ФАО 320 та підвищенню врожайності. Дослідження проводили на гібридах ФАО 320 (ДКС 3939; ДКС 3811), на діаграмах представлено усереднені показники за групою стиглості протягом років досліджень (середнє значення).

Характеристика елементів структури врожаю кукурудзи ФАО 320 за умови використання КАС і мікродобрив подано на (рис. 1).

Площа листової поверхні на варіанті Авангард Р Кукурудза, де відзначили найвищі показники, була на 0,6 тис. м²/га вища за контроль, на варіанті з Мікро-Мінераліс (Кукурудза) показники суттєво не відрізнялися від показника контролю і перевищили



Рис. 1. Характеристика елементів структури врожаю гібридів кукурудзи ФАО 320 за умови використання КАС і мікродобрив (середнє за 3 роки)

його лише на 0,3 тис. м²/га. Кількість качанів збільшувалася на варіанті із застосуванням мікродобрива Авангард Р Кукурудза. Маса качана на варіанті 2 перевищила контроль на 5 г, у варіанті 3 – на 2 г. Маса 1 000 зерен на варіантах 2 і 3 перевищувала контроль на 7–9 г.

Вплив КАС і мікродобрив на врожайність гібридів кукурудзи подано на (рис. 2).

Урожайність гібридів кукурудзи ФАО 320 на варіантах контролю становила 8,3 т/га, що на 0,29 т/га нижча за показник у варіанті 2 (КАС + Мікро-Мінераліс (Кукурудза)); у варіанті 3 (КАС + Авангард Р Кукурудза) показник продуктивності вищий від контролю на 0,97 т/га.

Обговорення

За результатами проведених досліджень виявлено, що врожайність середньостиглих гібридів кукурудзи залежала як від рівня мінерального живлення, так і від генетичних особливостей гібридів. За роками досліджень істотних змін щодо впливу варіантів удобрення на рівень продуктивності гібридів кукурудзи ФАО 320 не було відзначено. Однак більш сприятливі умови вирощування для гібридів склалися у 2023 р., що і вплинуло на усереднені показники (див. рис. 2) по варіантах із композицією КАС + Авангард Р Кукурудза. Також варто зазначити вплив погодних умов на гібриди ФАО 320 щодо врожайності, оскільки аномальна нестача вологості у 2024 р. вплинула на

даний показник. Отже, одержані результати досліджень свідчать про ефективність поєднання КАС і мікродобрив для позакореневого підживлення посівів і реалізації генетичного потенціалу гібридів кукурудзи ФАО 320. Результати експерименту, які одержали такі науковці, як М.М. Маренич, В.В. Гангур, С.О. Юрченко, К.В. Павліченко й інші, підтверджують високу ефективність живлення рослин комплексними добривами, що містять макро- та мікроелементи в управлінні врожайністю середньостиглих гібридів кукурудзи. За результатами досліджень встановлено, що позакореневе внесення КАС + Авангард Р Кукурудза виявилось більш ефективним на посівах гібридів середньостиглої групи.

Висновки

Позакореневе підживлення КАС і мікродобривами сприяє збільшенню висоти рослин, покращенню біометричних характеристик і підвищенню якості врожаю. Здійснювати таку обробку посівів треба у ключові етапи розвитку рослин, узгоджувати її з фізіологічними потребами культури. Для цього необхідно враховувати конкретний дефіцит мікроелементів з урахуванням індивідуальних властивостей ґрунту та рівня удобрення, тому для гібридів кукурудзи ФАО 320 рекомендовано композицію КАС + Авангард Р Кукурудза для позакореневого підживлення, що сприяє підвищенню врожайності та рентабельності культури.

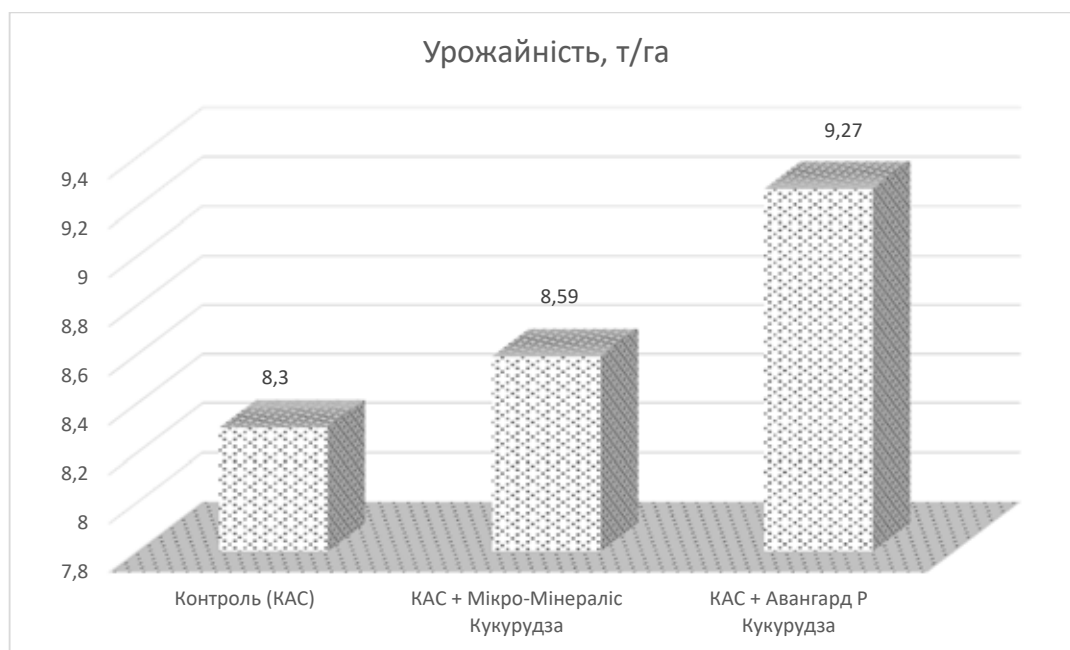


Рис. 2. Вплив КАС і мікродобрив на врожайність гібридів кукурудзи (середнє за 3 роки)

Список використаної літератури

- Гангур В.В. Кукурудза на зерно – кращі строки сівби і оптимальна густота стояння рослин для Лівобережного Лісостепу. *Агробізнес сьогодні*. 2021. № 7 (446). С. 24–25.
- Гангур В.В., Єремко Л.С., Руденко В.В. Вплив елементів технології вирощування на формування продуктивності гібридів кукурудзи різних груп стиглості. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 117. С. 37–43. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.117.6>.
- Грабовський М.Б., Вахній С.П., Лозінський М.В., Панченко Т.В., Басюк П.А. Зернова продуктивність гібридів кукурудзи залежно від застосування комплексних мінеральних добрив. *Агробіологія*. 2021. № 2. С. 33–42. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2021-167-2-33-42>.
- Кулик М.І., Білявська Л.Г., Сиплива Н.О., Улізко П.М., Гайдай А.О. Мінливість елементів індивідуальної продуктивності та врожайності зерна гібридів кукурудзи. *Аграрні інновації*. 2022. Вип. 15. С. 111–119. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.15.17>.
- Лень О.І. Вплив системи удобрення та основного обробітку ґрунту на продуктивність гібридів кукурудзи. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 2. С. 52–58. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.06>.
- Лень О.І., Тоцький В.М., Гангур В.В., Єремко Л.С. Вплив системи удобрення та основного обробітку ґрунту на продуктивність гібридів кукурудзи. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 2. С. 52–58. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.06>.
- Маренич М.М., Ласло О.О., Драч В.С. Адаптивні властивості гібридів кукурудзи до несприятливих кліматичних умов. *Зрошуване землеробство*. 2024. № 82. С. 43–47. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2024.82.7>.
- Павліченко К.В. Формування елементів структури врожаю гібридами кукурудзи на силос під впливом макро- і мікродобрив. *Аграрні інновації*. 2022. № 12. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.12.12>.
- Паламарчук В.Д., Демчук Б.С. Роль позакореневих підживлень у сучасних технологіях вирощування зернової кукурудзи. *Сільське господарство та лісівництво*. 2021. № 20. С. 60–76. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-5>.
- Юрченко С.О., Шакалій С.М., Баган А.В. Формування продуктивного потенціалу гібридів кукурудзи за групами стиглості. *Аграрні інновації*. 2022а. № 113. С. 7–11. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.13.1>.
- Юрченко С.О., Шакалій С.М., Баган А.В., Іващенко В.М., Бараболя О.В., Покотило А.В. Формування біометричних показників та рівня врожайності гібридів кукурудзи за групами стиглості. *Зрошуване землеробство*. 2022b. № 77. С. 5–8. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2022.77.1>.
- Bagrintseva V.N. Efficiency of foliar additional fertilizing of corn with fertilizers of brand BATR. *News of the Kabardin-Balkar Scientific Center of RAS*. 2021. № 1. P. 28–36. <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2021-1-99-28-36>.
- Biswas D.K., Ma B.L. Effect of nitrogen rate and fertilizer nitrogen source on physiology, yield, grain quality, and nitrogen use efficiency in corn. *Canadian Journal of Plant Science*. 2016. № 96 (3). P. 392–403. <https://doi.org/10.1139/cjps2015-0186>.
- Hanhur V., Marenych M., Korotkova I., Gamayunova V., Len O., Marinich L., Olepir R. Dynamics of nutrients in the soil and spring barley yield depending on the rates of mineral Fertilizers. *International Journal of Botany Studies*. 2021. Vol. 6. Issue 5. P. 1298–1306 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.botanyjournals.com/archives/2021/vol6/issue5/6-5-204> (дата звернення: 17.01.2025).
- Kolisnyk O.M. Influence of foliar feeding on the grain productivity of corn hybrids in the conditions of the right-bank forest steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. № 10 (2). P. 40–44. https://doi.org/10.15421/2020_61.
- Marenych M., Koba K., Hanhur V., Semenov A., Len O., Yeremko L., Bagan A., Yurchenko S., Yeleussinov B. Effectiveness of urea-ammonia mixtures for fertilisation of maize (zeamays l.) mother plants under conditions of unstable moisture. *Kexue Tongbao/Chinese Science Bulletin*. 2024. Vol. 69. Issue 04. P. 1657–1669.
- Marenych M.M., Hanhur V.V., Len O.I., Hangur Yu.M., Zhornyk I.I., Kalinichenko A.V. The efficiency of humic growth stimulators in presowing seed treatment and foliar additional fertilizing of sown areas of grain and industrial crops. *Agronomy Research*. 2019. № 17 (1). P. 194–205. <https://doi.org/10.15159/AR.19.023>.

References

- Gangur, V.V. (2021). Kukurudza na zerno – krashchi stroky sivby i optimalna hustota stoian-nia roslyn dla Livoberezhnoho Lisostepu [Corn for grain – the best sowing dates and optimal plant density for the Left Bank Forest Steppe]. *Ahrobiznes sohodni [Agribusiness today]*, 7 (446), 24–25 [in Ukrainian].
- Gangur, V.V., Yeremko, L.S., & Rudenko, V.V. (2021). Vplyv elementiv tekhnolohii vyrosh-chuvannia na formuvannia produktyvnosti hibrydiv kukurudzy riznykh hrup styhlosti [The influence of elements of cultivation technology on the formation of productivity of corn hybrids of different maturity groups]. *Tavriiskyi naukovi visnyk [Taurian Scientific Herald]*, 117, 37–43. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.117.6> [in Ukrainian].
- Grabovskiy, M.B., Vakhniy, S.P., Lozinskiy, M.V., Panchenko, T.V., & Basyuk, P.L. (2021). Zernova produktyvnist hibrydiv kukurudzy zalezhno vid zastosuvannia kompleksnykh mineralnykh dobryv [Grain productivity of corn hybrids depending on the application of complex mineral fertilizers]. *Ahrobiolohiia [Agrobiology]*, 2, 33–42. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2021-167-2-33-42> [in Ukrainian].
- Kulyk, M.I., Bilyavska, L.G., Sypliva, N.O., Ulizko, P.M., & Gaidai, A.O. (2022). Minlyvist elemen-tiv indyvidualnoi produktyvnosti ta vrozhaivosti zerna hibrydiv kukurudzy [Variability of elements of individual productivity and grain yield of corn hybrids]. *Ahrarni innovatsii [Agrarian innovations]*, 15, 111–119. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.15.17> [in Ukrainian].
- Len, O.I. (2021). Vplyv systemy udobrennia ta osnovnoho obrobitku gruntu na produktyvnist hibrydiv kukurudzy [The influence of the fertilization system and the main tillage on the producti-vity of corn hybrids]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy]*, 2, 52–58. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.06> [in Ukrainian].
- Len, O.I., Totskyi, V.M., Gangur, V.V., & Yeremko, L.S. (2021). Vplyv systemy udobrennia ta osnovnoho obrobitku gruntu na produktyvnist hibrydiv kukurudzy [The influence of the fertilization system and the main tillage on the productivity of corn hybrids]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrar-noi akademii [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy]*, 2, 52–58. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.06> [in Ukrainian].
- Marenych, M.M., Laslo, O.O., & Drach, V.S. (2024). Adaptivni vlastyvoli hibrydiv kuku-rudzy do nespriyatlyvykh klimatychnykh umov [Adaptive properties of corn hybrids to adverse climatic conditions]. *Zroshuvane zemlerobstvo [Irrigated agriculture]*, 82, 43–47. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2024.82.7> [in Ukrainian].
- Pavlichenko, K.V. (2022). Formuvannia elementiv struktury vrozhaivu hibrydamy kukurudzy na sylos pid vplyvom makro i mikrodozovyv [Formation of elements of the crop structure by hybrids of corn on silage under the influence of macro and micro fertilizers]. *Ahrarni innovatsii [Agrarian inno-vations]*, 12. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.12.12> [in Ukrainian].
- Palamarchuk, V.D., & Demchuk, B.S. (2021). Rol pozakorenevykh pidzhyvlen u suchasnykh tekhnolohiiakh vyroshchuvannia zernovoi kukurudzy [The role of foliar fertilization in modern grain corn cultivation technologies]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo [Agriculture and forestry]*, 20, 60–76. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-5> [in Ukrainian].
- Yurchenko, S.O., Shakaliy, S.M., & Bagan, A.V. (2022). Formuvannia produktyvnoho potentsialu hibrydiv kukurudzy za hrupamy styhlosti [Formation of the productive potential of corn hybrids by maturity groups]. *Ahrarni innovatsii [Agrarian innovations]*, 113, 7–11. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.13.1> [in Ukrainian].
- Yurchenko, S.O., Shakaliy, S.M., Bagan, A.V., Ivashchenko, V.M., Barabolya, O.V., & Pokotylo, A.V. (2022). Formuvannia biometrychnykh pokaznykiv ta rivnia urozhaivosti hibry-div kukurudzy za hrupamy styhlosti [Formation of biometric indicators and yield level of corn hybrids by maturity groups]. *Zroshuvane zemlerobstvo [Irrigated agriculture]*, 77, 5–8. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2022.77.1> [in Ukrainian].
- Bagrintseva, V.N. (2021). Efficiency of foliar additional fertilizing of corn with fertil-izers of brand BATR. *News of the Kabardin-Balkar Scientific Center of RAS*, 1, 28–36. <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2021-1-99-28-36> [in English].
- Biswas, D.K., & Ma, B.L. (2016). Effect of nitrogen rate and fertilizer nitrogen source on physiol-ogy, yield, grain quality, and nitrogen use efficiency in corn. *Canadian Journal of Plant Science*, 96 (3), 392–403. <https://doi.org/10.1139/cjps2015-0186> [in English].
- Hanhur, V., Marenych, M., Korotkova, I., Gamayunova, V., Len, O., Marinich, L., & Olepir, R. 2021. Dynamics of nutrients in the soil and spring barley yield depending on the rates of mineral

Fertilizers. *International Journal of Botany Studies*, 6 (5), 1298–1306. [Electronic resource] URL: <https://www.botanyjournals.com/archives/2021/vol6/issue5/6-5-204> (access date 17.01.2025) [in English].

Kolisnyk, O.M. (2020). Influence of foliar feeding on the grain productivity of corn hybrids in the conditions of the right-bank foreststeppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10 (2), 40–44. https://doi.org/10.15421/2020_61 [in English].

Marenych, M. Marenych M., Koba K., Hanhur V., Semenov A., Len O., Yermenko L., Bagan A., Yurchenko S., & Yeleussinov B. (2024). Effectiveness of urea-ammonia mixtures for fertilisation of maize (zeamays l.) mother plants under conditions of unstable moisture. *Kexue Tongbao/Chinese Science Bulletin*, 69, 1657–1669 [in English].

Marenych, M.M., Marenych, M.M., Hanhur, V.V., Len, O.I., Hangur, Yu.M., Zhornyk, I.I., & Kalinichenko, A.V. (2019). The efficiency of humic growth stimulators in presowing seed treatment and foliar additional fertilizing of sown areas of grain and industrial crops. *Agronomy Research*, 17 (1), 194–205. <https://doi.org/10.15159/AR.19.023> [in English].

Отримано: 28.01.2025
Прийнято: 12.02.2025



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 11
Український журнал природничих наук
№ 11

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

УДК 635.67:631.5 (477.4) (292.485)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.19>

УРОЖАЙНІСТЬ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ЦУКРОВОЇ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ ПРАВОБЕРЕЖНОЇ УКРАЇНИ

I. I. Palamarchuk¹

У статті представлено результати дослідження врожайності гібридів кукурудзи цукрової в умовах Лісостепу Правобережного України. Зважаючи на зміни клімату, умови вирощування, сортимент, що використовується, не забезпечує досить високих показників продуктивності. Тому потрібно постійно вивчати нові сорти та гібриди для виявлення більш адаптованих і пластичних до умов вирощування, а також водночас із високими смаковими показниками. Під час проведення дослідів використовували польовий, лабораторний і розрахунковий методи досліджень. За результатами проведених досліджень встановлено, що досліджувані гібриди кукурудзи цукрової є ранньостиглими, період від масових сходів до повної стиглості становить 103–109 діб. Морфологічні особливості та вимоги щодо умов вирощування гібридів кукурудзи впливали на показники біометричних параметрів. Найбільшою кількістю листків характеризувався гібрид Світстар F₁ (контроль) – 14,7 шт./рослину, що на 0,2–0,5 шт./рослину більше. Найбільшу висоту мали рослини контрольного варіанту (гібрид Світстар F₁) – 204 см. Особливості гібридів впливали також на висоту прикріплення качана. Найбільшу висоту прикріплення качана також мали рослини гібриду Світстар F₁ (контроль) – 59 см. В інших досліджуваних гібридів даний показник був на 5–6 см менше. Найбільша площа листків у фазу 3-го – 5-го листків зафіксована в гібрида Світстар F₁ (контроль) – 68 см²/рослину. Найбільш урожайним виявився гібрид кукурудзи цукрової Ракель F₁ з урожайністю товарних початків в обгортках 9,8 т/га, без обгортки – 7,4 т/га, із приростом щодо контролю 2,2 та 2,4 т/га.

Ключові слова: кукурудза цукрова, урожайність, міжфазні періоди, біометричні показники рослин, біометричні параметри продукції.

YIELD OF SWEET CORN HYBRIDS IN THE CONDITIONS OF THE FOREST STEPPE OF THE RIGHT BANK OF UKRAINE

I. I. Palamarchuk

The article presents the results of a study of the yield of sweet corn hybrids in the conditions of the Forest-Steppe of the Right Bank Ukraine. Taking into account climate change and growing conditions, the assortment used does not provide sufficiently high productivity indicators. Therefore,

¹ кандидат сільськогосподарських наук, доцент
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)
e-mail: palamar-inna86@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8582-3855

it is necessary to constantly study new varieties and hybrids to identify those that are more adapted and plastic to these growing conditions, as well as with high taste indicators. Field, laboratory and calculation methods were used during the research. According to the results of the research, it was established that the studied sweet corn hybrids are early-ripening, so the period from mass germination to full ripeness is 103–109 days. Morphological features and relation to the growing conditions of corn hybrids affected the indicators of biometric parameters. The greatest number of leaves was characterized by the Sweetstar F₁ hybrid (control) – 14,7 pcs./plant, which is 0,2–0,5 pcs./plant more. The plants of the control variant (Sweetstar F₁ hybrid) had the highest height – 204 cm. The features of the hybrid also influenced the height of the cob attachment. The plants of the Sweetstar F₁ hybrid (control) had the highest height of the cob attachment – 59 cm. In other studied hybrids, this indicator was 5–6 cm less. The studies provided for the determination of the leaf area of sweet corn plants in different phases of growth and development. The largest leaf area in the phase of the 3rd – 5th leaf was recorded in the Sweetstar F₁ hybrid (control) – 68 cm²/plant. The most productive was the Rakel F₁ sweet corn hybrid with a yield of marketable cobs in wrappers – 9,8 t/ha, without wrappers – 7,4 t/ha with an increase relative to the control of 2,2 and 2,4 t/ha.

Key words: sweet corn, productivity, interphase periods, biometric indicators, biometric parameters of products.

Вступ

Кукурудза цукрова (*Zea mays sacharata* Sturt) – однорічна, однодомна рослина, належить до родини тонконогових (*Poaceae*) – одна з основних продовольчих культур, яка має досить високий попит серед населення як продукт харчування. Найбільшими виробниками продукції кукурудзи цукрової є США, Китай, Бразилія, країни Євросоюзу та Мексика (Eskandarnejad et al., 2013).

Кукурудза цукрова має високу цінність як овочева рослина, оскільки має високі смакові якості в переробленому та свіжому вигляді, особливо сучасні надсолодкі гібриди. Зерна кукурудзи цукрової мають високу поживну цінність і містять у своєму складі велику кількість вітамінів, що робить її однією з найбільш корисних овочевих рослин в Україні та за її межами.

Зерна кукурудзи містять понад 25% цукрів у фазі молочної стиглості, а також до 25 г протеїну, 8 г жиру, 135 г вуглеводів, 775 мг фосфору, 3,2 мг заліза та 60 мг кальцію. Зерна кукурудзи цукрової у фазу молочно-воскової стиглості містять вітаміни, а саме: С, В₁, В₂, В₃, В₁₂, РР (Ozata, 2019; Swapna et al., 2020). Цукрова кукурудза належить до здорової їжі завдяки вмісту в ній каротиноїдів, як-от ксантофіл, лютеїн, зеаксантин (More et al., 2019; Sidahmed et al., 2024).

Кукурудза цукрова досить добре адаптована до умов вирощування, поширена в помірному кліматі, тропічних і субтропічних зонах. Підвищення стійкості до умов вирощування й отримання високих показників урожаю та якості продукції досягається шляхом вирощування сучасних високопродуктивних гібридів (Swapna et al.,

2020). Селекціонери працюють над створенням сортів кукурудзи цукрової, яка формує багряне зерно. Саме ці сорти володіють високим вмістом антиоксидантів і вітаміну Р (Wang, 1999; Khoo et al., 2017). Останнім часом зросло виробництво цукрової кукурудзи, оскільки це дуже смачний овоч із широким асортиментом, який постійно зростає. Натепер нові сорти, які надходять на ринок, характеризуються поліпшеними властивостями, зокрема й підвищеним вмістом цукру та збільшенням періоду зберігання. Вміст цукру в кукурудзі цукрової є важливим параметром, від якого залежить попит на даний сорт чи гібрид (Barátová et al., 2016).

В останнє десятиліття значно зросло виробництво кукурудзи цукрової. У супермаркетах і магазинах продається консервована кукурудза різних виробників. Також зерно кукурудзи цукрової реалізовується в замороженому вигляді окремо й у міксі овочів, а також у свіжому вигляді.

Дослідження показника врожайності кукурудзи цукрової проведені в умовах зони Лісостепу Правобережного. Згідно з даними досліджень М.О. Макаруч, урожайність зерна досліджуваного гібрида була на рівні 4,9 т/га, а висота прикріплення качана становила в середньому 220 см (Макаруч, 2021).

Найбільш вигідним є вирощування кукурудзи цукрової ранніх сортів, а також із застосуванням розсадного методу вирощування, що ще більш ефективно і дає можливість отримати продукцію в ранні строки. Рання продукція дає можливість отримати високий рівень прибутку завдяки вищій ціні продукції (Лиховід, 2020).

Дослідження сортів і гібридів кукурудзи цукрової проводили науковці в усіх зонах

України. В умовах Лівобережної України вивчено такі гібриди, як: Гламур, Спокуса, Сюрприз, Кабанець. Дослідженнями встановлено, що для кожного гібрида є свої оптимальні умови росту та формування врожаю. Так, для гібрида Спокуса оптимальною густотою стояння є 50 тис. рослин/га, а для гібридів Кабанець і Сюрприз – 40 тис. рослин/га, Гламур – 40–50 тис. рослин/га (Якунін та ін., 2011).

У результаті проведеного аналізу сучасного стану вирощування цукрової кукурудзи варто зазначити, що існуючі сорти та гібриди не цілком відповідають вимогам виробництва та потребують подальшого підвищення врожайності (Харченко та ін., 2016).

З огляду на зміни клімату, умови вирощування, сортимент, що використовується, не забезпечує досить високих показників продуктивності. Тому потрібно постійно вивчати нові сорти та гібриди для виявлення більш адаптованих і пластичних до даних умов вирощування, а також водночас із високими смаковими показниками.

Матеріал і методи

Дослідження врожайності гібридів кукурудзи цукрової проводили у 2023–2024 рр. в умовах Лісостепу Правобережного України. Польові дослідження виконувались згідно із загальноновизнаними методиками дослідної справи (Бондаренко і Яковенко, 2005; Рожков та ін., 2016). Дослідження проводили з такими гібридами кукурудзи цукрової, як: Мармурова F_1 , Світстар F_1 , Ракель F_1 . Досліди розміщували в чотириразовій повторності. Сівбу проводили широкорядним способом із міжряддям 70 см (норма висіву – 75 тис. шт./га зерен). У кінцевому густоті стояння рослин – 50 тис. шт./га.

Технологія вирощування передбачала використання краплинного зрошення з метою оптимізації умов, за зниження вологості менше 75% НВ. Дослідженнями передбачено проведення фенологічних спостережень, вимірювання біометричних параметрів рослин і продукції, визначення врожайності (Єщенко та ін., 2005). Товарні качани відбирали згідно зі стандартом (Гончаренко та ін., 2017). Показники врожаю кукурудзи цукрової, отримані в дослідках, обробляли методом дисперсійного аналізу (Рожков та ін., 2016).

Результати й обговорення

Особливості росту та розвитку рослин гібридів впливали на тривалість міжфазних періодів. Зокрема, усі фази розвитку раніше

наставали в гібрида Мармурова F_1 . Гібриди кукурудзи цукрової мали різну тривалість міжфазних періодів. Так, міжфазний період «масові сходи – повна стиглість» коротшим був у гібрида Мармурова F_1 – 104 доби, що на 6 діб коротший від контрольного варіанту та на 2 доби від гібрида Ракель F_1 (табл. 1).

Період «масові сходи до цвітіння» у гібрида Мармурова F_1 тривав 50 діб, що на 4 доби коротше, ніж у гібрида Світстар F_1 (контроль). Міжфазний період «цвітіння – початок молочно-воскової стиглості зерна» за тривалістю був найбільший у гібрида Світстар F_1 – 24 доби, а це на 4 та 3 доби триваліший від гібридів Мармурова F_1 та Ракель F_1 . Фаза, у якій проводять збір урожаю кукурудзи цукрової, – молочно-воскова. У даній фазі проводять збір урожаю для споживання у свіжому чи приготуваному стані, а також для консервування та заморожування. Коротшим серед досліджуваних варіантів міжфазний період «сівба – початок молочно-воскової стиглості» був у гібрида Мармурова F_1 – 71 діб. Найтривалішим даний період був на контролі і становив 75 діб. У гібрида Ракель F_1 від сівби до молочно-воскової стиглості, отже, і до збору продукції, період становив 72 доби. Загалом вирощування гібридів різних строків дозрівання дає можливість подовжити період збору продукції та запобігти перезріванню, що особливо важливо в господарствах із великими площами.

Морфологічні особливості та вимоги до умов вирощування гібридів кукурудзи впливали на показники біометричних параметрів. Найбільшою кількістю листків характеризувався гібрид Світстар F_1 (контроль) – 14,7 шт./рослину, що на 0,2–0,5 шт./рослину більше (табл. 2). Найменшу кількість листків мали рослини гібрида Ракель F_1 – 14,2 шт./рослину.

Найбільшу висоту мали рослини контрольного варіанту (гібрид Світстар F_1) – 204 см. Найменшу висоту відмічено в рослин гібрида Ракель F_1 – 170 см, а це на 34 см менше за контрольний варіант. Гібрид Мармурова F_1 за висотою рослин був на 25 см менше за контрольний варіант. Особливості гібрида впливали також на висоту прикріплення качана. Найбільшу висоту прикріплення качана мали рослини гібрида Світстар F_1 (контроль) – 59 см. В інших досліджуваних гібридів даний показник був на 5–6 см менше.

Дослідженнями передбачено визначення площі листків рослин кукурудзи цукрової

Таблиця 1

Міжфазні періоди кукурудзи цукрової, діб (2023–2024 рр.)

Сортимент	Масові сходи – повна стиглість	Масові сходи – цві- тіння	Цвітіння – початок молочно-воскової стиглості зерна	Сівба – початок молочно-воскової стиглості зерна
Мармурова F ₁	104	50	20	71
Ракель F ₁	106	51	21	73
Світстар F ₁ (контроль)	110	54	24	75

Таблиця 2

Біометричні показники кукурудзи цукрової (2023–2024 рр.)

Сортимент	Кількість листків, шт./рослину	Висота рослин, см	Висота прикріплення качана, см
Мармурова F ₁	14,5	179	54
Ракель F ₁	14,2	170	53
Світстар F ₁ (контроль)	14,7	204	59

в різні фази росту та розвитку. Найбільша площа листків у фазу 3-го – 5-го листків зафіксована в гібрида Світстар F₁ (контроль) – 68 см²/рослину (табл. 3.). Найменша площа листків у дану фазу була в гібрида Мармурова F₁ – 65 см²/рослину, що на 3 см²/рослину менше за контроль. У фазу викидання волоті та початку молочно-воскової стиглості найбільшу площу листків зафіксовано в гібрида Світстар F₁ (контроль) – 3 387 і 3 726 см²/рослину, що відповідно на 13 і 62 см²/рослину більше.

Отримувати високі та сталі показники врожаю з відмінною якістю продукції, з утриманням рівня попиту, можна завдяки

постійному вивченню сортименту кукурудзи цукрової, беручи до уваги технологічні прийоми вирощування, ґрунтові та погодні умови, зокрема і зміну клімату.

Урожайність є основним і кінцевим показником вирощування сільськогосподарських культур. Дослідження показали, що найбільш урожайним є гібрид кукурудзи цукрової Ракель F₁, з урожайністю товарних початків в обгортках 9,8 т/га, без обгортки – 7,4 т/га, із приростом щодо контролю 2,2 і 2,4 т/га (табл. 4).

Найменшу врожайність мали рослини гібрида Світстар F₁ (контроль): в обгортках – 7,5 т/га, без обгортки – 4,9 т/га. У гібрида

Таблиця 3

Площа листової поверхні кукурудзи цукрової, см²/рослину (2023–2024 рр.)

Сортимент	Фаза розвитку		
	3-го – 5-го листків	викидання волоті	початок молочно-воскової стиглості зерна
Мармурова F ₁	65	3 325	3 646
Ракель F ₁	67	3 374	3 683
Світстар F ₁ (контроль)	68	3 387	3 726

Таблиця 4

Урожайність товарних початків кукурудзи цукрової, т/га (2023–2024 рр.)

Сортимент	Урожайність в обгортках	± до контролю	Урожайність без обгортки	± до контролю
Мармурова F ₁	8,5	0,9	6,0	1,0
Ракель F ₁	9,8	2,2	7,4	2,4
Світстар F ₁ (контроль)	7,6	–	5,0	–
НІР _{0,5т/га}	0,23	–	0,22	–

Мармурова F₁ показник урожаю також був вищий за контрольний варіант із приростом: в обгортках – 1,0 т/га, без обгортки – 1,1 т/га відповідно. Істотність даної різниці доведено результатами дисперсійного аналізу.

Попит на солодку кукурудзу значною мірою зріс через її кращий смак порівняно зі звичайною кукурудзою. Проведеними в інших країнах дослідженнями також доведено, що біометричні параметри продукції та врожайність залежать від сортів і гібридів кукурудзи цукрової (Subaedah et al., 2021).

Широкий діапазон мінливості гібридної кукурудзи використовується для покращення цієї культури. Дотримання технологічних прийомів вирощування та їх оптимізація ведуть до вищого кількісно та якісного

урожаю. Екологічні чинники, особливо температура, – це основні агенти, які впливають на ріст рослин і розвиток. Чинники навколишнього середовища, особливо температура під час розвитку насіння та дозрівання, можуть вплинути на врожайність (Sidahme et al., 2024).

Висновки

За результатами проведених досліджень встановлено, що досліджувані гібриди кукурудзи цукрової є ранньостиглими, період від масових сходів до повної стиглості становить 103–109 діб. Найбільші біометричні параметри рослин спостерігались у гібрида Світстар F₁ (контроль). Найбільш урожайним виявився гібрид кукурудзи цукрової Ракель F₁, з урожайністю товарних початків в обгортках 9,8 т/га, без обгортки – 7,4 т/га, із приростом щодо контролю 2,2 та 2,4 т/га.

Список використаної літератури

- Бондаренко Г.А., Яковенко К.І. Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві. Харків : Основа, 2001. 369 с.
- Гончаренко В.Ю., Гордієнко І.М., Даценко С.М., Лихацький В.І., Яровий Г.І. ДСТУ 8594:2015 Кукурудза цукрова свіжа (качани). Технічні умови. 01.01.2017. Інститут овочівництва і баштанництва Української академії аграрних наук (ІОБ УААН). Київ, 2017.
- Дослідна справа в агрономії : навчальний посібник : у 2 кн. / А.О. Рожков та ін. Кн. 1 : Теоретичні аспекти дослідної справи. Харків : Майдан, 2016. 316 с.
- Єщенко В.О., Копитко, В.П. Опришко, П.В. Основи наукових досліджень з агрономії. Костогриз. К.: Дія. 2005. 288 с.
- Лиховід П.В. Вплив елементів технології вирощування на врожайність та якість цукрової кукурудзи. 2020 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.pro-of.com.ua/vpliv-elementiv-technologii%D1%97-viroshhuvannya-na-urozhajnist-ta-yakist-cukrovo%D1%97-kukurudzi/> (дата звернення: 22.01.2025).
- Макарчук М.О. Урожайність гетерозисних гібридів кукурудзи цукрової з ФАО 280–290 в умовах Правобережного Лісостепу. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2021. Вип. 99. С. 223–230. <https://doi.org/10.31395/2415-8240-2021-99-1-223-230>.
- Харченко Ю.В., Харченко А.Я., Клімова О.Є. Біологічна і господарська оцінка нових зразків цукрової кукурудзи на Устимівській дослідній станції рослинництва. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2016. № № 1–2. С. 25–29. <https://doi.org/10.31210/visnyk2016.1-2.05>.
- Якунін О.П., Губар О.В., Оксєненко О.М. Вологозабезпеченість та врожайність гібридів кукурудзи харчової залежно від густоти стояння рослин. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони*. 2011. С. 42–46.
- Barátová S., Šlosár M., Andrejiová A. Examination of basic variety characteristics of sweet corn in conditions of the southern Slovakia. *Acta Horticulturae et Regiotecturae*. 2016. № 19 (1). P. 4–7. <https://doi.org/10.1515/ahr-2016-0002>.
- Eskandarnejad S., Khorasani S.K., Bakhtiari S., Heidarian A.R. Effect of row spacing and plant density on yield and yield components of Sweet corn (*Zea mays* L. *Saccharata*) varieties. *Advanced Crop Science*. 2013. Vol. 3. № 1. P. 81–88.
- Khoo H.E., Azlan A., Tang S.T., Lim S.M. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food Nutrition Research*. 2017. Aug 13. № 61 (1). P. 1361779. <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>.
- More P.G., Thakre S.M., Khodke S.U. Quality assessment of microwave blanched sweet corn kernels. *Int. J. Agric. Eng.* 2018. Vol. 11 (1). P. 164–167.
- Ozata E. Evaluation of Fresh Ear Yield and Quality Performance in Super Sweet Corn. *Int. J. Life Sci. Biotechnol.* 2019. № 2 (2). P. 80–94.

Sidahmed H., Illes A., Nagy A. Performance of agricultural factors on yield of sweet corn (*Zea mays* L. *Saccharata*) : A review. *Acta agraria debreceniensis*. 2024. № 1. P. 143–156. <https://doi.org/10.34101/ACTAAGRAR/1/12830>.

Subaedah St., Edy E., Kiky M. Growth, Yield, and Sugar Content of Different Varieties of Sweet Corn and Harvest Time. *International Journal of Agronomy*. 2021. Vol. 2021. P. 1–7. <https://doi.org/10.1155/2021/8882140>.

Swapna G., Jadesha G., Mahadevu P. Sweet Corn – A Future Healthy Human Nutrition Food / G. Swapna et al. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2020. № 9 (7). P. 3859–3865.

Wang H. Antioxidant and antiinflammatory activities of anthocyanins and their aglycon, cyanidin, from tart cherries. *Journal Natural Products*. 1999. № 62 (2). P. 294–296.

References

Bondarenko, H.L., & Yakovenko, K.I. (2001). *Metodyka doslidnoi spravy v ovochivnytstvi i bashtannytstvi* [Research methodology in vegetable and melon growing]. Kharkiv: Osnova, 369 p. [in Ukrainian].

Honcharenko, V., Hordiienko, I., Datsenko, S., & Lykhatskyi, V., Yarovyi, H. (2017). DSTU 8594:2015 Kukurudza tsukrova svizha (kachany). *Tekhnichni umovy* [DSTU 8594:2015 Fresh sweet corn (cobs). Technical conditions]. 01.01.2017. Instytut ovochivnytstva i bashtannytstva Ukrainiskoi akademii ahrarykh nauk (IOB UAAN). Kyiv [in Ukrainian].

Rozhkov, A.O., Puzik, V.K., & Kalenska, S.M., et al. (2016). *Doslidna sprava v ahronomii: navch. posibnyk: u 2 kn.* Kn. 1. *Teoretychni aspekty doslidnoi spravy* [Research in agronomy: a textbook: in 2 books. Book 1. Theoretical aspects of research]. Kharkiv: Maidan, 316 p. [in Ukrainian].

Ieshchenko, V.O., Kopytko, V.P., & Opryshko, P.V. (2005). *Osnovy naukovykh doslidzhen z ahronomii* [Fundamentals of scientific research in agronomy]. Kostohryz. Kyiv: Diia, 288 p. [in Ukrainian].

Lykhovid, P.V. (2020). *Vplyv elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia na vrozhaunist ta yakist tsukrovoi kukurudzy* [The influence of the elements of cultivation technology on the yield and quality of sweet corn]. [Electronic resource] URL: <https://www.pro-of.com.ua/vplyv-elementiv-tekhnologi%D1%97-viroshhuvannya-na-urozhajnist-ta-yakist-cukrovo%D1%97-kukurudzi/> (access date 22.01.2025) [in Ukrainian].

Makarchuk, M.O. (2021). *Urozhainist heterozysnykh hibrydiv kukurudzy tsukrovoi z FAO 280–290 v umovakh Pravoberezhnoho Lisostepu* [Yield of heterotic hybrids of sweet corn with FAO 280–290 in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva* [Collection of scientific papers of the Uman National University of Horticulture], 99, 223–230. <https://doi.org/10.31395/2415-8240-2021-99-1-223-230> [in Ukrainian].

Kharchenko, Yu.V., Kharchenko, L.Ya., & Klimova, O.Ye. (2016). *Biologichna i hospodarska otsinka novykh zrazkiv tsukrovoi kukurudzy na Ustymivskii doslidnii stantsii roslynnnytstva* [Biological and economic evaluation of new samples of sweet corn at the Ustimov Plant Research Station]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarynoi akademii* [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy], 1–2, 25–29. <https://doi.org/10.31210/visnyk2016.1-2.05> [in Ukrainian].

Iakunin, O.P., Hubar, O.V., & Okselenko, O.M. (2011). *Volohozabezpechenist ta vrozhaunist hibrydiv kukurudzy kharchovoi zalezno vid hustoty stoiannia roslyn* [Moisture availability and yield of food corn hybrids depending on plant density]. *Biuleten Instytutu silskoho hospodarstva stepovoi zony* [Bulletin of the Institute of Agriculture of the Steppe Zone], 42–46 [in Ukrainian].

Barátová, S., Šlosár, M., & Andrejiová, A. (2016). Examination of basic variety characteristics of sweet corn in conditions of the southern Slovakia. *Acta Horticulturae et Regiotecturae*, 1 (19), 4–7. <https://doi.org/10.1515/ahr-2016-0002> [in English].

Eskandarnejad, S., Khorasani, S.K., Bakhtiari, S., & Heidarian, A.R. (2013). Effect of row spacing and plant density on yield and yield components of Sweet corn (*Zea mays* L. *Saccharata*) varieties. *In Advanced Crop Science*, 3, 1, 81–88 [in English].

Khoo, H.E., Azlan, A., Tang, S.T., & Lim, S.M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food Nutrition Research*, 61 (1) [in English].

More, P.G., Thakre, S.M., & Khodke, S.U. (2018). Quality assessment of microwave blanched sweet corn kernels. *Int. J. Agric. Eng.*, 11 (1), 164–167 [in English].

- Ozata, E., (2019). Evaluation of Fresh Ear Yield And Quality Performance In Super Sweet Corn. *Int. J. Life Sci. Biotechnol*, 2 (2), 80–94 [in English].
- Sidahme, H., Illes, A., & Nagy, A. (2024). Performance of agricultural factors on yield of sweet corn (*Zea mays* L. *Saccharata*) – A review. *Acta agraria debreceniensis*, 1, 143–156 [in English].
- Subaedah, St., Edy, E., & Mariana, K. (2021). Growth, Yield, and Sugar Content of Different Varieties of Sweet Corn and Harvest Time. *International Journal of Agronomy*, Vol. 2021, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2021/8882140> [in English].
- Swapna, G., Jadesha, G., & Mahadevu, P. (2020). Sweet Corn – A Future Healthy Human Nutrition Food. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9 (7), 3859–3865 [in English].
- Wang, H. (1999). Antioxidant and antiinflammatory activities of anthocyanins and their aglycon, cyanidin, from tart cherries. *Journal Natural Products*, 62 (2), 294–296 [in English].

Отримано: 28.01.2025
Прийнято: 10.02.2025



УДК 633.88:582.998.2:631.55 (477.43 + 477.85)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.20>

ФОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ФОТОСИНТЕТИЧНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ПОСІВІВ НАГІДОК ЛІКАРСЬКИХ ЗАЛЕЖНО ВІД СПОСОБІВ ЗАСТОСУВАННЯ РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ РОСЛИН

В. В. Парашук¹, В. Я. Хоміна²

Значний діапазон фармакологічного ефекту лікарських препаратів із рослинної сировини визначає їхнє вагоме місце в арсеналі терапевтичних засобів. Відомо, що значною перевагою природної лікарської сировини, порівняно із синтетичними лікарськими засобами, є більша безпечність і здатність впливати на етіологію захворювання, а не лише на його наслідки. Нагідки лікарські (*Calendula officinalis* L.) – поширена лікарська рослина, яку можна вирощувати в усіх зонах України, проте для отримання високоякісної лікарської сировини бажано включати в технологію вирощування культури регулятори росту рослин. Мета досліджень полягала в оцінюванні фотосинтетичної продуктивності нагідок лікарських за показниками: площі листової поверхні (за фазами розвитку методом «висічок») та фотосинтетичного потенціалу залежно від способів застосування регуляторів росту рослин. Дослідження виконувались із сортом нагідок лікарських Сонячна красуня. Закладався двофакторний дослід, де фактор А – регулятор росту (без регулятора росту – контроль, Івін, Авангард Стимул, Азотофіт Р), фактор В – спосіб застосування регулятора росту (обробка насіння, обприскування посіву у фазі розетки листків).

Застосовані загальнонаукові методи для узагальнення результатів досліджень, в основі яких є об'єктивність, доказовість, відтворення та математично-статистичний – для обробки експериментальних даних.

Дослідженнями встановлено, що в середньому за три роки досліджень оптимальними показниками площі листового апарату нагідок лікарських характеризувались варіанти: обприскування вегетуючих рослин препаратами Азотофіт Р, Авангард Стимул і передпосівна обробка насіння регулятором росту Івін, значення становили відповідно: 430, 421 і 414 см²/рослину з перевищення контролю на 42–56 см²/рослину. Максимальний фотосинтетичний потенціал визначено в період від початку до кінця цвітіння рослин, значення на контрольних варіантах становили 8 630–8 362 см²×діб/рослину, а із застосуванням регуляторів росту рослин показники зросли на 533–1 270 см²×діб/рослину. Найбільший ефект забезпечили препарати Азотофіт Р і Авангард Стимул за обприскування вегетуючих рослин, а також Івін – за обробки насіння, з відповідними показниками: 9 632, 9 430 і 9 274 см²×діб/рослину. На основі отриманих даних буде сформовано

¹ аспірант кафедри рослинництва, селекції та насінництва
(Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський)
e-mail: homina13@ukr.net
ORCID: 0000-0002-6646-6343

² доктор сільськогосподарських наук, професор,
завідувач кафедри рослинництва, селекції та насінництва
(Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський)
ORCID: 0000-0002-8698-0008

рекомендації з удосконаленої технології вирощування нагідок лікарських, що може становити практичний інтерес для аграріїв і науковий – для наукової спільноти.

Ключові слова: нагідки лікарські, регулятор росту, обробка насіння, обприскування посівів, площа листків, фотосинтетичний потенціал.

FORMATION OF PHOTOSYNTHETIC PRODUCTIVITY INDICATORS OF MARIGOLD CROPS DEPENDING ON THE METHODS OF APPLICATION OF PLANT GROWTH REGULATORS

V. V. Paraschuk, V. Ya. Khomina

A significant range of pharmacological effects of medicinal preparations from plant raw materials determines their significant place in the arsenal of therapeutic agents. It is known that a significant advantage of natural medicinal raw materials, compared to synthetic drugs, is greater safety and the ability to influence the etiology of the disease, and not only its consequences. Marigold (*Calendula officinalis* L.) is a common medicinal plant that can be grown in all areas of Ukraine, however, to obtain high-quality medicinal raw materials, it is desirable to include plant growth regulators in the technology of growing the crop. The purpose of the research was to assess the photosynthetic productivity of marigolds according to the following indicators: leaf surface area (by development phases using the "cutting" method) and photosynthetic potential depending on the methods of application of plant growth regulators. The research was carried out with the marigold variety *Soniachna Krasunia*. A two-factor experiment was set up, where factor A is a growth regulator (without a growth regulator – control, Ivin, Avangard Stimul, Azotofit R), factor B is the method of applying the growth regulator (seed treatment, spraying of sowing in the leaf rosette phase). The studies used general scientific methods to summarize the results of the studies, which are based on objectivity, demonstrability, reproduction, and mathematical and statistical methods – for processing experimental data. The studies established that on average over three years of research, the optimal indicators of the leaf area of marigolds were characterized by the following variants: spraying of vegetative plants with Azotofit R, Avangard Stimul preparations and pre-sowing treatment of seeds with the growth regulator Ivin, the values were respectively: 430, 421 and 414 cm²/plant, exceeding the controls by 42–56 cm²/plant. The maximum photosynthetic potential was determined in the period from the beginning to the end of plant flowering, the values on the control variants were 8630–8362 cm²×day/plant, and with the use of plant growth regulators the indicators increased by 533–1 270 cm²×day/plant. The greatest effect was provided by the preparations Azotofit R and Avangard Stimul for spraying vegetative plants, as well as Ivin – for seed treatment, with the corresponding indicators: 9 632, 9 430 and 9 274 cm²×day/plant. Based on the data obtained, recommendations will be formed on the improved technology of growing marigolds, which may be of practical interest to farmers and scientific interest to the scientific community.

Key words: marigolds, growth regulator, seed treatment, spraying of crops, leaf area, photosynthetic potential.

Вступ

Нагідки лікарські (*Calendula officinalis* L.) входять у десятку найбільш поширених у Європі лікарських рослин (Alnuqaydan et al., 2015). Нагідки лікарські за спектром застосування посідають друге місце серед інших поширених лікарських рослин, поступаються лише ромашці лікарській (Громовик та ін., 2008). Нагідки лікарські відзначаються унікальною пластичністю, вважаються невибагливою рослиною (Мірзоева, 2023). Це холодостійка рослина, сходи витримують короткочасні заморозки. Для росту та розвитку рослин досить температури 8–12 °C (Lurak et al., 2018). Нагідки невимогливі до

ґрунтів. Кращі ґрунти з pH = 6,5–7,5. Нагідки є рослиною довгого дня з винятково низьким фотоперіодом: рослини зацвітають за тривалості дня більше 6,5 години (Лихочвор та ін., 2003). Умови освітлення відіграють важливу роль у фотосинтетичних процесах, що відбуваються. За зрідженого розміщення рослин листкова поверхня кожної рослини більша, ніж за загущеного, а сумарна поглинальна здатність листків на одиниці площі може виявитися приблизно однаковою (Мусієнко, 2005; Скляр, 2015).

Така екологічна характеристика вказує на те, що умови Західного Лісостепу цілком придатні для вирощування нагідок лікар-

ських, проте мало виконаних досліджень в умовах зони про вивчення впливових чинників підвищення врожайності суцвіть і отримання якісної екологічно чистої лікарської рослинної сировини.

Матеріал і методи

Дослідження виконувались із сортом нагідок лікарських Сонячна красуня. Закладався двофакторний дослід, де фактор А – регулятор росту (без регулятора росту – контроль, Івін, Авангард Стимул, Азотофіт Р), фактор В – спосіб застосування регулятора росту (обробка насіння, обприскування посіву у фазі розетки листків). Під час виконання наукових досліджень використовувались загальнонаукові та спеціальні методи досліджень. Із загальнонаукових методів використовували такі: *гіпотезу, експеримент, аналіз*. Для визначення показників структури рослин нагідок лікарських, площі листкового апарату, обліку врожайності суцвіть, хімічного складу суцвіть ми використовували *лабораторний метод*. Фотосинтетичну продуктивність оцінювали за показниками площі листкової поверхні (за фазами розвитку рослин методом «висічок») та фотосинтетичного потенціалу. Для закладки польових дослідів згідно зі схемою експерименту використовували *польовий метод*; для підтвердження достовірності отриманих результатів експерименту використано *методи математичної статистики*.

Результати

Площа листків значно коливається залежно від фази росту та розвитку рослини, від генотипу, тривалості вегетації рослини, від екологічних і гідротермічних умов, у яких зростає рослина. Площа листкового апарату нагідок лікарських визначалась за фазами росту і розвитку рослин. Оптимальні

показники (372–430 см²/рослину) отримано в середньому за роки досліджень у фазу цвітіння рослин (табл. 1).

До фази цвітіння спостерігалось поступове наростання площі асиміляційної поверхні, після завершення фази цвітіння – спад показника, оскільки з початком генеративного періоду в рослин припиняються ростові процеси, подекуди спостерігається засихання та відмирання листків.

У розрізі років досліджень спостерігалась така картина: оптимальні значення площі листків – у межах 379–438 см²/рослину – сформувались в умовах найбільш сприятливого 2023 р., дещо поступалися – на 0,7–0,9 см²/рослину значення умов 2021 р., найменші (від 365 до 423 см²/рослину) були за вирощування в умовах 2022 р. досліджень. Щодо формування площі листків у розрізі варіантів, у всі досліджувані роки спостерігалась аналогічна тенденція. У середньому за три роки досліджень оптимальними показниками площі листків характеризувались варіанти: обприскування вегетуючих рослин препаратами Азотофіт Р, Авангард Стимул, передпосівна обробка насіння регулятором росту Івін, значення становили відповідно: 430, 421 та 414 см²/рослину, з перевищенням контролів на 42–56 см²/рослину.

Проведений тест Дункана засвідчив, що різниця між варіантами досліджень за фактором А (регулятор росту) була достовірною, оскільки значення розподілились за трьома різними гомогенними групами. Винятком були варіанти із препаратами Івін і Авангард Стимул, які віднесено до однієї групи, але показники цих варіантів істотно відрізняються від контролю і варіанту з регулятором росту Азотофіт Р (табл. 2).

Таблиця 1

Площа листкового апарату нагідок лікарських залежно від способів застосування регуляторів росту рослин, см²/рослину (2021–2023 рр.)

Регулятор росту (А)	Спосіб обробки (В)	Рік			Середнє за 2021–2023 рр.	± до контролю
		2021 р.	2022 р.	2023 р.		
Без регулятора (контроль)	насіння	372	365	379	372	–
	посіву	373	367	382	374	–
Івін	насіння	413	407	422	414	42
	посіву	409	404	420	411	37
Авангард Стимул	насіння	399	387	405	397	25
	посіву	422	414	427	421	47
Азотофіт Р	насіння	414	394	419	409	37
	посіву	429	423	438	430	56
V*		5,4	5,3	5,1		

Примітка*: V – коефіцієнт варіації, що показує мінливість показника в розрізі років.

Таблиця 2

Обсяг площі листкового апарату нагідок лікарських залежно від регулятора росту рослин за тестом Дункана, $\text{см}^2/\text{рослину}$ (2021–2023 рр.)

Препарат (А)	Гомогенні групи		
	I	II	III
Без препарату (контроль)	373		
Івін		412	
Авангард Стимул		409	
Азотофіт Р			419

Щодо впливу способу застосування регулятора росту рослин (фактор В), за тестом Дункана усереднені значення площі листків нагідок лікарських розподілено за двома різними гомогенними групами, що свідчить про істотну різницю між варіантами досліджень (табл. 3).

У результаті проведених обліків і спостережень установлено, що показники фотосинтетичного потенціалу мали аналогічну тенденцію, що й показники площі листкового апарату.

У середньому за роки досліджень відбулось наростання фотосинтетичного потенціалу впродовж фаз вегетації від 31 до

8 360 $\text{см}^2 \times \text{діб}/\text{рослину}$ (контрольний варіант) (табл. 4).

У період «сходи – розетка листків» фотосинтетичний потенціал був у межах 30–35 $\text{см}^2 \times \text{діб}/\text{рослину}$, із застосуванням регуляторів росту рослин показник зріс на 2–5 $\text{см}^2 \times \text{діб}/\text{рослину}$. У міжфазний період «розетка листків – бутонізація» значення становили від 948 до 11 075 $\text{см}^2 \times \text{діб}/\text{рослину}$. Оптимальний показник отримано в разі обприскування посівів регулятором росту Азотофіт Р. У період бутонізації – початку цвітіння показники перебували в межах 7 403–8 471 $\text{см}^2 \times \text{діб}/\text{рослину}$, на варіантах із застосуванням біологічно активних

Таблиця 3

Залежність площі листкового апарату нагідок лікарських від способу застосування регулятора росту рослин за тестом Дункана, $\text{см}^2/\text{рослину}$ (2021–2023 рр.)

Спосіб застосування регулятора росту рослин (В)	Гомогенні групи	
	I	II
Обробка насіння	398	
Обприскування посіву		409

Таблиця 4

Динаміка фотосинтетичного потенціалу нагідок лікарських залежно від способів застосування регуляторів росту рослин, $\text{см}^2 \times \text{діб}/\text{рослину}$ (середнє за 2021–2023 рр.)

Регулятор росту (А)	Спосіб обробки (В)	Період вегетації			
		сходи – розетка листків	розетка листків – бутонізація	бутонізація – початок цвітіння	початок цвітіння – кінець цвітіння
Без регулятора (контроль)	насіння	31	948	7 403	8 360
	посіву	30	950	7 406	8 362
Івін	насіння	33	1 035	8 238	9 274
	посіву	32	1 027	8 179	9 206
Авангард Стимул	насіння	32	993	7 821	8 893
	посіву	34	1 053	8 294	9 430
Азотофіт Р	насіння	33	1 023	8 057	9 162
	посіву	35	1 075	8 471	9 632
V*		5,93	5,54	6,05	6,19

Примітка*: V – коефіцієнт варіації, що показує мінливість показника в розрізі періодів вегетації рослин.

препаратів показник підвищився на 773–8 471 см²×діб/рослину. Максимальний фотосинтетичний потенціал визначено в період від початку до кінця цвітіння рослин, значення на контрольних варіантах становили 8 630–8 362 см²×діб/рослину, а із застосуванням регуляторів росту рослин показники зросли на 533–1 270 см²×діб/рослину. Найбільший ефект забезпечили препарати Азотофіт Р і Авангард Стимул, за обприскування вегетуючих рослин, а також Івін – за обробки насіння, з відповідними показниками: 9 632, 9 430 і 9 274 см²×діб/рослину.

Обговорення

Учені вважають, що найважливішим процесом життя на Землі є фотосинтез, у результаті якого накопичується біомаса рослин і підтримується баланс газового складу атмосфери, отже, і рівновага в середовищі всіх живих організмів. Фізичне нагромадження врожаю всіх сільськогосподарських культур, зокрема й лікарських, напряду залежить від фотосинтезу. Продуктивність, у свою чергу, залежить від біологічних і агротехнічних чинників. На думку науковців (Макрушин та ін., 2006; Притуляк та ін., 2016), для підвищення ефективності посівів варто використовувати всі шляхи оптимізації вирощування культури. За результатами досліджень (Коваленко і Стебличенко, 2020), на площу листового апарату чаберу садового, вирощеного в умовах Півдня України, істотний вплив мало краплинне зрошення з показником 25,06 тис. см²/м², тоді як за природного зволоження – 16,49 тис. см²/м². Застосування регуляторів росту Вермийодіс для обробки насіння та Гуміфілд для обприскування посівів сприяло отриманню площі

листіків фенхелю звичайного – 30,5 та 30,7 тис м²/га, що перевищує варіант без обробки на 2,7 та 2,9 тис. м²/га відповідно (Строяновський, 2021). Дослідження, виконані в умовах Західного Лісостепу на культурі розторопші плямистій, свідчать, що із застосуванням регулятора росту Агроемістим-екстра площа листової поверхні становила 54,7–54,6 тис. м²/га, тобто з перевищенням контролю на 2,7–3,1 тис. м²/га (Хоміна, 2014). Питаннями вивчення фотосинтетичної діяльності агроценозів зернобобових культур (нут, сочевиця) залежно від інкуляції насіння, впливу регуляторів росту та підживлень цікавилась низка науковців (Сухова, 2012; Присяжнюк і Топчій, 2017; Побережна і Бахмат, 2024).

Висновки

У середньому за три роки досліджень оптимальними показниками площі листового апарату нагідок лікарських характеризувались варіанти: обприскування вегетуючих рослин препаратами Азотофіт Р, Авангард Стимул, передпосівна обробка насіння регулятором росту Івін, значення становили відповідно: 430, 421 та 414 см²/рослину, з перевищенням контролю на 42–56 см²/рослину.

Максимальний фотосинтетичний потенціал визначено в період від початку до кінця цвітіння рослин, із застосуванням регуляторів росту рослин показники зросли на 533–1 270 см²×діб/рослину. Найбільший ефект забезпечили препарати Азотофіт Р і Авангард Стимул, за обприскування вегетуючих рослин, а також Івін – за обробки насіння, з відповідними показниками: 9 632, 9 430 і 9 274 см²×діб/рослину.

Список використаної літератури

- Громовик Б.П., Гасюк Г.Д., Левицька О.Р. Менеджмент і маркетинг у фармації: підручник. К. Медицина, 2008. 752 с.
- Коваленко О.А., Стебличенко О.І. Фотосинтетична продуктивність посівів чаберу садового (*Satureja hortensis* L.) залежно від агротехнічних прийомів вирощування. *Зрощуване землеробств.* 2020. Вип. 73. С. 216–223.
- Лікарські рослини. Значення, ботанічні і біологічні особливості, технологія вирощування, заготівля / В.В. Лихочвор та ін. Львів : НВФ «Українські технології», 2003. 208 с.
- Мірзоева Т.В. Окремі аспекти формування доданої вартості у галузі лікарського рослинництва. *Економіка та суспільство.* 2023. Вип. № 49. С. 45. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-49-66>.
- Мусієнко М.М. Фізіологія рослин : підручник. Київ : Либідь, 2005. 808 с.
- Побережна Л.В., Бахмат О.М. Фотосинтетична продуктивність посівів нуту звичайного залежно від обробки насіння та позакореневого підживлення рослин. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка.* 2024. Вип. 1 (42). С. 39–46. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-1.6>.
- Присяжнюк О.І., Топчій О.В. Формування елементів структури врожайності сочевиці залежно від строків сівби, мікродобрив і регуляторів росту. *Наукові праці Інституту біоенер-*

гетичних культур і цукрових буряків. 2017. Вип. 25. С. 72–78 [Електронний ресурс]. URL: http://bioenergy.gov.ua/sites/default/files/articles/72-25_0.pdf (дата звернення: 10.01.2025).

Пригуляк Р.М., Удлатій В.О., Кавецький Ю.П. Чиста продуктивність фотосинтезу посівів тритикале озимого за дії гербіцидів та регулятора росту рослин. *Збірник студентських наукових праць Уманського національного університету садівництва, присвячений 125-річчю від дня народження професора В.Л. Симеренка*. Умань, 2016. Ч. 2. С. 68–69.

Скляр В.Г. Екологічна фізіологія рослин : підручник. Суми : Університетська книга, 2015. 271 с.

Строяновський В.С. Фотосинтетичний потенціал агроценозів фенхелю звичайного залежно від агротехнічних факторів в умовах Лісостепу Західного. *Таврійський науковий вісник*. 2021. Вип. 119. С. 129–135. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.119.17>.

Сухова Г.І. Фотосинтетична діяльність сортів сочевиці в умовах Східного Лісостепу України. *Вісник Харківського національного аграрного університету імені В.В. Докучаєва*. 2012. Вип. 2. С. 150–155 [Електронний ресурс]. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhnau_roslyn_2012_2_26 (дата звернення: 10.01.2025).

Фізіологія сільськогосподарських рослин / М.М. Макрушин та ін. Вінниця : Нова книга, 2006. 413 с.

Хоміна В.Я. Показники фотосинтетичного потенціалу агроценозів розторопші плямистої залежно від впливу окремих агротехнічних заходів. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2014. Вип. 3 (27). С. 119–123 [Електронний ресурс]. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsna_agro_2014_3_30 (дата звернення: 10.01.2025).

Alnuqaydan A.M., Lenehan C.E., Hughes R.R., Sanderson B.J. Extracts from *Calendula officinalis* offer in vitro protection against H₂O₂ induced oxidative stress cell killing of human skin cells. *Phytother Res*. 2015. Vol. 29. P. 120–123. <https://doi.org/10.1002/ptr.5236>.

Lupak O., Klepach H., Antonyak H. Marigold (*Calendula officinalis* L.) and its components as a source of biologically active substances. *Ecology and human health* / Ed. by Andrzej Krynski et al. Czestochowa : Educator, 2018. P. 65–76.

References

Hromovyk, B.P., Hasiuk, H.D., & Levytska, O.R. (2008). *Menedzhment i marketynh u farmatsii: pidruchnyk* [Management and marketing in pharmacy: textbook]. Kyiv: Medytsyna, 752 p. [in Ukrainian].

Kovalenko, O.A., & Steblichenko, O.I. (2020). Fotosyntetychna produktyvnist posiviv chaberu sadovoho (*Satureja hortensis* L.) zalezno vid ahrotekhnichnykh pryiomiv vyroshchuvannia [Photosynthetic productivity of savory (*Satureja hortensis* L.) crops depending on agrotechnical cultivation methods]. *Zroshuvane zemlerobstvo: zbirnyk naukovykh prats* [Irrigated agriculture: a collection of scientific papers], 73, 216–223 [in Ukrainian].

Lykhochvor, V.V., Borysiuk, V.S., Dubkovetskyi, S.V., & Onyshchuk, D.M. (2003). *Likarski roslyn*. Znachennia, botanichni i biolohichni osoblyvosti, tekhnolohiia vyroshchuvannia, zahotivlia [Medicinal plants. Meaning, botanical and biological features, cultivation technology, harvesting]. Lviv: NVF “Ukrainski tekhnolohii”, 208 p. [in Ukrainian].

Mirzoieva, T.V. (2023). Okremi aspekty formuvannia dodanoi vartosti u haluzi likarskoho roslynnytstva [Certain aspects of added value formation in the field of medicinal plant growing]. *Ekonomika ta suspilstvo* [Economy and society], 49, 45. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-49-66> [in Ukrainian].

Musiienko, M.M. (2005). *Fiziolohiia roslyn: pidruchnyk* [Plant Physiology: Textbook]. M.M. Musiienko. Kyiv: Lybid, 808 p. [in Ukrainian].

Poberezhna, L.V., & Bakhmat, O.M. (2024). Fotosyntetychna produktyvnist posiviv nutu zvychainoho zalezno vid obrobky nasinnia ta pozakorenevoho pidzhyvlennia roslyn [Photosynthetic productivity of chickpea crops depending on seed treatment and foliar fertilization of plants]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika* [Podilsky Visnyk: agriculture, technology, economy], 1 (42), 39–46. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-1.6> [in Ukrainian].

Prysiashniuk, O.I., & Topchii, O.V. (2017). Formuvannia elementiv struktury vrozhaivosti sochevytsi zalezno vid strokiv sivyby, mikrodozbryv i rehulatoriv rostu [Formation of elements of the lentil yield structure depending on sowing dates, microfertilizers and growth regulators]. *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovyykh buriakiv* [Scientific works of the Institute of

Bioenergy Crops and Sugar Beet], 25, 72–78. [Electronic resource] URL: http://bioenergy.gov.ua/sites/default/files/articles/72-25_0.pdf (access date 10.01.2025) [in Ukrainian].

Prytuliak, R.M., Udolatii, V.O., & Kavetskyi, Yu.P. (2016). Chysta produktyvnist fotosyntezy posiviv trytykale ozymoho za dii herbitsydiv ta rehulatora rostu roslyn [Net photosynthetic productivity of winter triticale crops under the action of herbicides and plant growth regulators]. *Zbirnyk studentskykh naukovykh prats Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva, prysviachenyi 125-richchiiu vid dnia narodzhennia profesora V.L. Symerenka* [A collection of student scientific works of the Uman National University of Horticulture, dedicated to the 125th anniversary of the birth of Professor V.L. Simerenka]. Uman, 2, 68–69 [in Ukrainian].

Skliar, V.G. (2015). Ekolohichna fiziologhiia roslyn: pidruchnyk [Ecological physiology of plants: a textbook]. Sumy: Universytetska knyha, 271 p. [in Ukrainian].

Stroianovskiy, V.S. (2021). Fotosyntetychnyi potentsial ahrotsenoziv fenkheliu zvychainoho zalezno vid ahrotekhnichnykh faktoriv v umovakh Lisostepu zakhidnoho [Photosynthetic potential of agrocenoses of common fennel depending on agrotechnical factors in the conditions of the Western Forest-Steppe]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk* [Taurian Scientific Herald], 119, 129–135. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.119.17> [in Ukrainian].

Sukhova, H.I. (2012). Fotosyntetychna diialnist sortiv sochevytsi v umovakh Skhidnoho Lisostepu Ukrainy [Photosynthetic activity of lentil varieties in the conditions of the Eastern Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk KhNAU* [KHNAU Bulletin], 2, 150–155. [Electronic resource] URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhnau_roslyn_2012_2_26 (access date 10.01.2025) [in Ukrainian].

Makrushyn, M.M., Makrushyna, Ye.M., Peterson, N.V., & Melnykov, M.M. (2006). Fiziologhiia silskohospodarskykh roslyn [Physiology of agricultural plants]. Vinnytsia: Nova knyha, 413 p. [in Ukrainian].

Khomina, V.Ya. (2014). Pokaznyky fotosyntetychnoho potentsialu ahrotsenoziv roztoropshi pliamystoi zalezno vid vplyvu okremykh ahrotekhnichnykh zakhodiv [Indicators of the photosynthetic potential of milk thistle agrocenoses depending on the influence of individual agrotechnical measures]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho aharnoho universytetu* [Bulletin of the Sumy National Agrarian University], 3 (27), 119–123. [Electronic resource] URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsna_agro_2014_3_30 (access date 10.01.2025) [in Ukrainian].

Alnuqaydan, A.M., Lenehan, C.E., Hughes, R.R., & Sanderson, B.J. (2015) Extracts from *Calendula officinalis* offer in vitro protection against H₂O₂ induced oxidative stress cell killing of human skin cells. *Phytother Res.*, 29, 120–123. <https://doi.org/10.1002/ptr.5236> [in English].

Lupak, O., Klepach, H., & Antonyak, H. (2018). Marigold (*Calendula officinalis* L.) and its components as a source of biologically active substances. Ecology and human health. Edited by Andrzej Krynski, Georges Kamto Tebug, Svitlana Voloshanska. Czestochowa: Educator, 65–76 [in English].

Отримано: 24.01.2025

Прийнято: 12.02.2025



УДК 635.655:631.531

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.21>

РІЗНОЯКІСНІСТЬ НАСІННЯ, ОЦІНКА ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ ТА МАСИ ТИСЯЧІ НАСІНИН СОЇ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СОРТОВОГО СКЛАДУ

О. В. Пилипенко¹

Сучасні сорти сої не лише повинні забезпечувати максимальну врожайність, але й відповідати високим якісним стандартам з огляду на багатогранність її використання в різних галузях. Питання покращення якості насіння сої набуває стратегічного значення для аграрного сектора України та зберігає свою актуальність у глобальному контексті. З позицій селекції та насінництва отримання високоякісного насіннєвого матеріалу становить ключовий чинник, що сприяє досягненню стабільного і високого економічного ефекту.

Насіннєвий матеріал відіграє ключову роль у визначенні рівня врожайності культур, і саме його якість і властивості значною мірою зумовлюють потенціал підвищення продуктивності того чи іншого сорту.

Обґрунтований вибір сорту відіграє ключову роль у досягненні максимального рівня врожайності. Водночас сорт виступає одним із найбільш доступних та ефективних агротехнічних засобів, спрямованих на мінімізацію негативного впливу обмежувальних факторів навколишнього середовища на продуктивність сої. Він також забезпечує високий рівень адаптивності культури до специфічних умов вирощування.

Використання високоякісного насіння є ключовим чинником для реалізації генетичного потенціалу сільськогосподарських культур, закладеного селекціонерами. Інвестиції у високоякісне насіння виправдовуються з економічної точки зору, адже численні дослідження підтверджують його позитивний вплив на підвищення врожайності рослин. З огляду на зростання конкуренції та збільшення попиту на аграрному ринку необхідно посилити контроль якості насіннєвого матеріалу.

Оцінка його характеристик відіграє фундаментальну роль у процесі прийняття рішень щодо відповідності стандартизованим вимогам. Водночас, попри значний прогрес у підвищенні продуктивності сучасних сортів сої, залишаються актуальними проблеми, пов'язані із недостатньою адаптивністю певних сортів, їх екологічною стабільністю та пластичністю.

Ключові слова: соя, фракційний склад, маса 1000 насінин, сорти, насінництво, насіннєвий матеріал, урожайність, різноякісність насіння.

¹ здобувач ступеня вищої освіти доктора філософії,
кафедра селекції, насінництва і генетики
(Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава)
e-mail: psov@ukr.net
ORCID: 0009-0002-7540-4504

DIFFERENT QUALITY OF SEEDS, ESTIMATION OF FRACTIONAL COMPOSITION AND WEIGHT OF THOUSANDS OF SOYBEAN SEEDS DEPENDING ON VARIETAL COMPOSITION

O. V. Pylypenko

Modern soybean varieties must not only deliver maximum yields but also meet high quality standards, given the versatility of its use in various industries. The issue of improving the quality of soybean seeds is of strategic importance for Ukraine's agricultural sector and remains relevant in the global context. From the point of view of breeding and seed production, obtaining high-quality seed material is a key factor contributing to achieving a stable and high economic effect.

Seed plays a key role in determining the level of crop yields, and its quality and properties largely determine the potential for increasing the productivity of a particular variety.

A well-reasoned choice of variety plays a key role in achieving maximum yields. At the same time, the variety is one of the most affordable and effective agronomic tools to minimise the negative impact of environmental constraints on soybean productivity. It also provides a high level of adaptability to specific growing conditions.

The use of high quality seeds is a key factor in realising the genetic potential of crops laid down by breeders. Investments in high-quality seeds are justified from an economic point of view, as numerous studies confirm their positive impact on increasing crop yields. Given the growing competition and increasing demand in the agricultural market, it is necessary to strengthen control over the quality of seed material. Evaluation of its characteristics plays a fundamental role in the decision-making process regarding compliance with standardised requirements. At the same time, despite significant progress in improving the productivity of modern soybean varieties, problems related to the lack of adaptability of certain varieties, their environmental stability and plasticity remain relevant.

Key words: soybean, fractional composition, weight of 1000 seeds, varieties, seed production, seed material, yield, different quality of seeds.

Вступ

Соя – актуальна культура XXI століття, яка впевнено інтегрується у світове землеробство й економіку, посідаючи дедалі важливіше місце у структурі посівів. Проте, попри суттєве збільшення площ її вирощування, урожайність сої в Україні залишається нестабільною та недостатньо високою. Для підвищення обсягів виробництва сої пріоритетним завданням є систематична робота над розробкою та впровадженням у виробництво високопродуктивних і високоякісних сортів, адаптованих до конкретних умов вирощування. Розкриття потенціалу продуктивності кожного сорту тісно пов'язане з його адаптивними властивостями, зокрема пластичністю та стабільністю. Серед ключових показників пластичності та стабільності сортів виділяють масу 1000 насінин і фракційний склад насіння. Сорти, які мають низьку адаптивність або меншу пластичність, не лише демонструють нестабільну врожайність у різні роки, а й формують насіння із неоднорідною фракцією та змінними показниками маси 1000 насінин. Стабільність врожаю, невелика фракційність насіння сортів та мінімальні коливання маси 1000 насінин є ключовими чинниками для отримання якісного насіння сої.

Матеріал і методи

Для досягнення мети дослідження було використано аналіз літературних джерел та результатів провідних науковців у сфері насінництва та вирощування сої.

Результати та обговорення

Потенціал сорту розкривається лише за умови висіву насіння, яке відповідає високим сортовим і посівним стандартам, а також у середовищі, що максимально узгоджується з його біологічними особливостями. Насінництво сої охоплює процеси виробництва якісного насіннєвого матеріалу, забезпечення сортової чистоти, підтримання та вдосконалення врожайності й інших важливих характеристик насіння (Бахмат, 2009; Кириченко та ін., 2016; Білявська та ін., 2020).

Сорти сої з часом втрачають свої цінні властивості та характеристики під час вирощування у кількох поколіннях. Це призводить до зниження врожайності через біологічне засмічення, розщеплення генів, спонтанні мутації, зниження стійкості до хвороботворних організмів і механічне забруднення насінням інших сортів або культур.

Різноманітність насіння сої є комплексним явищем, що формується під впливом як

зовнішнього середовища, так і внутрішніх процесів у рослині. Екологічна різноякісність насіння виникає внаслідок взаємодії рослинного організму з умовами довкілля. Вона зумовлена вирощуванням сої на різних типах ґрунтів, впливом погодних умов та інших екологічних факторів, які можуть мати значний вплив на забезпечення насіння необхідною вологою та метаболітами під час його формування і дозрівання. Це може спричиняти зміни у фізичних, морфологічних, фізіологічних та біохімічних характеристиках і властивостях насіння. Важливо зазначити, що така різноякісність не передається у спадок, проте вона суттєво впливає на врожайність, якісні характеристики та властивість насіння сої (Насінництво..., 2007; Насінництво..., 2018; Цицюра та ін., 2019; Ходаніцька та ін., 2024).

Генетична різноякісність у сої проявляється меншою мірою, ніж у перехреснозапилюваних культур. Соя належить до самозапилюваних культур, але в окремих випадках спостерігається спонтанне перехресне запилення. Рівень такого переопилення може коливатися залежно від низки факторів. Окрім цього, генетична різноманітність може бути зумовлена мутаційною мінливістю, зокрема генними мікромутаціями, які постійно виникають під впливом зовнішніх і внутрішніх чинників (Соя..., 2023).

Матрикальна (або материнська) різноякісність насіння залежить від його розташування на рослині. Ця різноякісність формується через неоднорідний розвиток зародків насінин, що зумовлюється нерівномірністю забезпечення поживними речовинами та особливостями процесів органогенезу й анатомічної будови окремих частин рослини. Вагомою причиною материнської різноякісності є асинхронність розвитку пагонів, що спричиняє нерівномірний розподіл поживних речовин. Це пов'язано із рівнем розвитку кореневої системи рослини. Комбінація матрикальної та екологічної різноякісності найбільше проявляється у сортів із низькою пластичністю, які недостатньо адаптовані до певних умов вирощування. Це може вплинути на зниження врожайності, нерівномірність насіння та погіршення його кондиційного виходу із загальної площі посіву. Усе це негативно позначається на економічній ефективності насінництва в окремих регіонах.

Біологічні особливості формування насіння сої ґрунтуються на чітко визначених етапах розвитку. Формування насіння

розпочинається на 10-му етапі органогенезу, коли відбувається інтенсивний ріст бобів у довжину і ширину. Після цього триває процес накопичення поживних речовин у сім'ядолях – із стулок бобів та інших органів рослини вони поступово переходять у насіння. У період досягання насіння виділяються три основні фази розвитку: утворення та формування, налив насіння і повна стиглість. Налив насіння збігається із максимальною інтенсивністю фотосинтезу в рослині. У цей період завершується вегетативний ріст, зменшується суха маса листя, стебел та коріння. Тривалість наливу залежить від сорту: в ранньостиглих вона триває 2–3 тижні після цвітіння, у середньостиглих – 4–5 тижнів, а у пізньостиглих – 6–7 тижнів. Одним із важливих показників якості насіння є його виповненість. У врожайній масі часто зустрічається як якісно виповнене насіння, так і недозрілі або щуплі насінини, особливо ті, що утворюються на верхніх вузлах рослин із індетермінантним типом росту (Кириченко та ін., 2016; Білявська і Рибальченко, 2019; Мазур та ін., 2020).

Затримка збирання врожаю через дощову та теплу осінь може призводити до зниження схожості насіння до 25–40%, навіть якщо зовні воно виглядає нормально. У ранньостиглих сортів ці процеси відбуваються швидше. Особливістю сої є також висока чутливість до механічних ушкоджень. Зміна рівня вологості насіння під час збирання підвищує ризик травмованості, що надалі сприяє розвитку захворювань. Найменша травмованість спостерігається під час обмолоту насіння з вологістю близько 14%, що підтверджується даними літературних джерел та практичними спостереженнями. Механічні ушкодження, такі як тріщини на сім'ядолях і пошкодження оболонки, погіршують лабораторну та польову схожість насіння, а також його енергію проростання. Збирання при підвищеній вологості провокує травмування насіння навіть під час зберігання, створюючи сприятливі умови для розвитку грибкових інфекцій. Це призводить до зниження його життєздатності, погіршення польової схожості і зрідження посівів, що негативно позначається на майбутньому врожаї. Важливим фактором для забезпечення якісного насіння є правильне налаштування збиральної техніки, оскільки це безпосередньо впливає на подальші якісні показники насіння та врожаю культури (Погоріла та ін., 2016; Цицюра та ін., 2021; Соя..., 2023).

При затримці строків досягання та нерівномірності досягання насінницьких посівів через несприятливі погодні умови та фізіологічні особливості для збереження врожаю та високих посівних властивостей насіння рекомендується проводити десикацію посівів. Для сої, як і для багатьох інших сільськогосподарських культур, процес збирання врожаю є надзвичайно важливою технологічною операцією. Час повного досягання настає при обпаданні листків, коли боби набули специфічного для сорту забарвлення (Кириченко та ін., 2016; Кобак та ін., 2024).

Потенційна урожайність сортів сої реалізується лише при сівбі високоякісним насінням, вирівняним за крупністю. Щоб отримати вирівняні та дружні сходи сої і в подальшому достойний урожай, потрібно мати добре відкаліброване вирівняне фракційно насіння. Багато вчених у своїх дослідках по-різному трактує вплив крупності насіння на подальшу урожайність, початок росту та розвитку. Існують наукові бачення, що крупне насіння формує кращий врожай (Білявська і Пилипенко, 2016; Кириченко та ін., 2016; Borowska, 2021).

Для забезпечення дружніх сходів і, відповідно, отримання високого врожаю насіння сої важливими факторами є розмір та маса насіння. У дослідженні Г. Марека зазначено, що використання для сівби крупного насіння сприяє підвищенню продуктивності рослин порівняно з дрібним.

Ф. Ноббе підкреслює, що великі розміри насіння позитивно впливають на початкові етапи росту та розвитку рослин. Окрім цього, Ф. Габерландт виявив, що в лабораторних умовах пророщування крупного насіння у низці культур асоціюється зі швидшим розвитком кореневої системи та надземної частини рослин на ранніх фазах їхнього росту і розвитку (Кириченко та ін., 2016).

М.М. Макрушин та Є.М. Макрушина дослідили, що велике насіння містить більше поживних речовин, необхідних для проростання і формування здорового паростка. Встановлено, що зі збільшенням маси насіння у багатьох випадках поліпшуються його посівні властивості. Зокрема, в польових умовах велике насіння забезпечує більш дружні сходи, а рослини, які з нього виростають, мають потужний ріст, високу фізіологічну активність і сприяють отриманню більшого врожаю. Проте зафіксовано й ситуації, коли крупне насіння не завжди

перевершувало середнє або навіть дрібне. Нерідко його біологічні властивості погіршувалися через механічні пошкодження під час обробки або зберігання, особливо за умов підвищеної вологості (Чернишенко, 2008; Макрушин і Макрушина, 2011).

С.М. Білецький, М.Є. Вольні та інші дослідники, вивчаючи вплив розміру насіння на врожайність, дійшли висновку, що більші за розміром насінини забезпечують кращі результати урожаю (Кириченко та ін., 2016).

Е.Г. Кизилова, Ф.А. Шепетина та їхні колеги зазначають, що після видалення дрібного насіння подальше сортування за фракціями не має практичного сенсу і не є доцільним (Кириченко та ін., 2016).

С.П. Костичев підкреслював, що використання великого насіння для посіву може бути так само результативним, як і застосування добрив. Це стало підставою для В.Р. Вільямса стверджувати, що позитивний вплив розміру насіння на якість і кількість врожаю є настільки очевидним і загально-визнаним, що додаткові докази цього вже не потрібні (Кириченко та ін., 2016).

Натомість В.Я. Юр'єв і Г.В. Гуляєв зазначають, що крупне насіння у багатьох випадках демонструє нижчі посівні та врожайні характеристики. Дослідники наголошують на тому, що воно найчастіше є гіпертрофованим, має пухку анатомічну структуру, яка робить його більш вразливим до травмування, а також характеризується зниженою життєздатністю. З точки зору ефективності таке насіння поступається середньофракційному, яке виглядає оптимальним для аграрного використання (Кириченко та ін., 2016).

Заданими М.М. Кулешова, В.В. Буткевича та інших дослідників, відбір крупного насіння сприяє підвищенню врожайності й покращенню якості насіннєвого матеріалу. Це значною мірою пояснюється тим, що проростки з великого насіння, маючи більший запас поживних речовин, здатні швидше формувати кореневу систему та інтенсивніше розвиватися (Кириченко та ін., 2016).

Дослідження Ф.А. Шепетина та І.І. Чалого показали, що розподіл насіння сої та інших зернобобових культур на фракції не завжди забезпечує однакові результати щодо посівних якостей (зокрема, енергії проростання і лабораторної схожості) та врожайності (Кириченко та ін., 2016).

На основі досліджень І.К. Чехова виявлено пряму залежність між використан-

ням крупного, добре виповненого насіння сої та показниками врожайності, схожості насіння і виживаності рослин. Найбільш ефективним і економічно вигідним підходом виявилась сівба сої із застосуванням крупного та середнього виповненого насіння (Кириченко та ін., 2016).

Дослідження відомих вчених-агрономів, зокрема А.І. Стебута, С.П. Кулжинського та інших, не підтверджують висновків щодо переваг використання великого насіння порівняно з дрібним (Кириченко та ін., 2016).

У роботах В.В. Гриценка та З.М. Колошиної зазначається, що зниження врожайності під час сівби великим насінням зумовлене зменшенням питомої щільності самого насіння. Це пояснюється його більш пухкою структурою та збільшеним вмістом повітря в оболонках (Кириченко та ін., 2016).

Маючи велику практику у виробництві насіння, ділюсь своїм баченням стосовно крупності насіння для посіву. Не всі сорти генетично можуть формувати крупне насіння. Відповідно, використання визначення крупного насіння в розрізі різних сортів буде відносним. Лише адаптовані та пластичні сорти сої формують максимально вирівняне насіння із мінімальним вмістом різнофракційного насіння.

Галузь насінництва, як і інші галузі агро-виробництва, повинна бути економічно вигідною. Відповідно, проводити організаційно-технологічні операції для формування тільки крупної фракції насіння економічно не обґрунтовано. Крупна та дрібна фракція насіння у пластичного сорту буде не значна і може коливатися до 20% від загальної кількості кондиційного насіння. Важливішим фактором є якісний розподіл насіння за фракціями. Фракційна доробка насіння залежно від потреб виробничого плану різних суб'єктів насінництва різна. Низка насіннєвиробників для підвищення економічного ефекту використовує декілька фракцій та, відповідно, формує різні партії після доробки насіння. Даний підхід часто спостерігається при використанні іноземних сортів, де є значна нерівномірність фракції в отриманому насінні (Білявська та ін., 2020; Соє..., 2023). Причиною такої діяльності є неповноцінно обґрунтований підбір сортів для насінництва. При веденні насінництва адаптованого та пластичного сорту сої основна фракція насіння може становити 80–95%, що в подальшому доз-

воляє доробляти вирівняне, повноцінно виповнене насіння для отримання високих врожайів (Білявська та ін., 2016).

Важливим фактором при виборі фракції для сівби є вологозабезпеченість поля для посіву. Так, крупне насіння, щоб повноцінно прорости, витрачає більшу частину вологи, ніж насіння меншого розміру. Відповідно, при слабкому вологозабезпеченні не рекомендується висівати крупну фракцію насіння, адже це може призвести до нерівномірного проростання та загибелі проростків під впливом провокаційної вологи в першу чергу. Фактором, що може негативно вплинути на проростання насіння, крім невірно підбраної фракції насіння, є різна глибина посіву. Тобто при посіві глибиною більше 5 см (потрібно робити поправку на тип ґрунтів) насіння більше втрачає енергії на проростання, особливо на важких ґрунтах, але має більше вологи на даній глибині посіву. У такому разі краще висівати насіння з більшою масою 1000 насінин. При більш мілкому посіві (менше 5 см) краще висівати насіння з меншою масою 1000 насінин. Це дозволить частково знівелювати зменшену кількість вологи та отримати повноцінні сходи культури (Чернишенко, 2008; Кириченко та ін., 2016; Коковіхіна, 2022).

Одним із найважливіших завдань є збереження та покращення посівних та урожайних властивостей насіння. Збудники грибних, вірусних та бактеріальних хвороб можуть знижувати урожайність сої на 10–50%. Основну загрозу становлять хвороби насіння, хвороби сходів та хвороби під час вегетації, прояв яких більший при ранньому посіві в непрогрітий ґрунт, а також накопичення патогенів при недотриманні сівозміни. Насіння, уражене збудниками хвороб, призводить до погіршення якості посівного матеріалу, польової схожості, енергії проростання та життєздатності насіння в цілому (Пилипенко та ін., 2022; Соє..., 2023).

Протруєння насіння – обов'язковий захід у технології вирощування сої. Насіння сої значно пошкоджується під механічним впливом. Травмування (пошкодження) бувають видимі та невидимі (мікротріщини), тому при обробці насіння протруєниками важливо контролювати швидкість руху насіння в робочих елементах протруєвальної машини та агрегатів, що подають та вивантажують протруєне насіння. Доцільно та рекомендовано уникати металевих шнеків (Бахмат, 2009; Петриченко та ін., 2009).

Насіння сої добре поглинає вологу, але все одно надмірна кількість робочого розчину призводить до погіршення якості протруєння. Розчин частково може стікати та нерівномірно розподілитися по насінню. При використанні протруйника з інокулянтном та поживним бустером можливе часткове злипання насіння. Після цього потрібно проводити пересипання насіння для руйнування злипання, або так зване механічне розтривування насіння в тарі. Оптимальною нормою робочого розчину (з власної практики та рекомендацій виробників) є 5–7 л/т. Така норма залежить від сортових характеристик насіння, препаратів та протруйної машини. Для протруєння насіння сої краще застосовувати порційні протруйні машини. Вони дають змогу якісніше та менш травматично протруїти насіння. Важливим фактором протруєння насіння сої є застосування зареєстрованих препаратів з дотриманням регламенту змішування препаратів перед протруєнням (Кириченко та ін., 2016; Рябуха та ін., 2019).

Господарська довговічність насіння – певний період зберігання насіння, при котрому схожість насіння залишається кондиційною, відповідає вимогам ДСТУ.

Дуже важливим завданням у насінництві сої є безпосереднє зберігання насіннєвого матеріалу, дотримання сортової чистоти, життєздатності та низки інших господарсько-цінних показників, властивих сорту.

Основними чинниками, котрі впливають на збереження господарської довговічності насіння, є механічні пошкодження (особливо під час збирання культури), терміни збирання, рівень дотримання повноцінної технології вирощування сої (густота, ураженість хворобами та шкідниками, забезпечення елементами живлення) (Каленська і Новицька, 2016).

Основними факторами, що впливають на стан зберігання насіннєвого матеріалу, є вологість насіння та оточуючого середовища, температурний режим та наявність патогенів. При зберіганні у неконтрольованих умовах насіння сої швидко втрачає схожість. Висока температура оточуючого середовища та вологість насіння створює сприятливі умови для посилення дихання і розвитку мікроорганізмів та патогенів, що згубно впливає на фізіологічні процеси в насінні. У сої вологість насіння є критичним фактором зберігання (Кириченко та ін., 2016).

Висновки

Маючи стратегічне значення в продовольстві, соя досить примхлива до умов вирощування та не завжди відповідає очікуванням виробників. Підбір сортів, найбільш адаптованих та пластичних до умов вирощування, є важливим фактором економічно вигідного товарного виробництва сої та ведення насінництва даної культури. Важливими показниками у виборі сортів у певній зоні є стабільні врожаї за роками, стабільно низька фракційність насіння та маса 1000 насінин. Необґрунтований підбір сортів призводить до значних економічних збитків або недоотримання економічної вигоди від насіннєвого виробництва. У процесі вирощування адаптованих та високопластичних сортів сої основна фракція насіння може досягати 80–95%. Це забезпечує можливість доопрацювання рівномірного та повністю виповненого насіння, необхідного для отримання високих врожаїв.

У зв'язку із великою актуальністю проблематики фракційності варіювання маси 1000 насінини та якості насіння сої у період з 2022 р. до 2024 р. включно мною були проведені відповідні дослідження, результати яких опрацьовуються та будуть висвітлені у наступних публікаціях.

Список використаної літератури

- Бахмат О.М. Соя – культура майбутнього, особливості формування високого врожаю. Кам'янець-Подільський. 2009. 208 с.
- Білявська Л.Г., Білявський Ю.В., Шаповал О.С., Панченко С.С. Сучасний стан та перспективи насінництва сої в Лісостепу України. *Scientific Progress & Innovations*. 2020. № 4. С. 45–52.
- Білявська Л.Г., Рибальченко А.М. Мінливість господарсько-цінних ознак сої в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 1. С. 65–72. <https://doi.org/10.31210/visnyk2019.01.08>.
- Білявська Л.Г., Пилипенко О.В. Поради щодо вибору сорту сої для виробника. *Агроексперт*. 2016. № 3. С. 26–27 [Електронний ресурс]. URL: <https://agroexpert.ua/poradi-sodo-viboru-sortu-soi-dla-virobnika/> (дата звернення: 27.01.2025).
- Каленська С.М., Новицька Н.В. Травмування насіння польових культур. Київ, 2016. 246 с.

Кириченко В.В., Рябуха С.С., Кобизева Л.Н., Посилаєва О.О., Чернищенко П.В. Соя (Glycine max (L.) Merr.). Харків : НААН, Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва, 2016. 400 с.

Кобак С.Я., Чорна В.М., Головенько Ю.О. Вплив ретардантів на формування врожайності насіння сої. *Корми і кормовиробництво*. 2024. № 97. С. 40–50. URL: <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202497-04>.

Коковіхіна О.С. Якість насіння сої та маса тисячі насінин залежно від сортового складу, удобрення та захисту рослин за умов зрошення на Півдні України. *Зрошуване землеробство*. 2022. № 78. С. 57–62. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2022.78.9>.

Мазур О.В., Мазур О.В., Лозінський М.В. Селекція та насінництво польових культур : навчальний посібник. Вінниця : ВЦ ВНАУ. 2020. 348 с.

Макрушин М.М., Макрушина Є.М. Насінництво : підручник. Сімферополь, 2011. 476 с.

Насінництво багаторічних та однорічних кормових культур / за ред. Г.І. Демидася, І.Т. Слюсаря. Київ, 2018. 231 с.

Насінництво й насіннезнавство польових культур / за ред. М.М. Гаврилюка. Київ, 2007. 216 с.

Петриченко В.Ф., Бабич А.О., Іванюк С.І. Передпосівна обробка насіння. *Посібник українського хлібороба*. 2009. С. 244–246.

Рябуха С.С., Чернищенко П.В., Святченко С.І., Садовой О.О., Тесля Т.О. Вплив гідротермічних чинників довкілля на врожайність та біохімічний склад насіння сої. *Селекція і насінництво*. 2019. № 115. С. 93–102. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2019.172785>.

Пилипенко О.В., Брижак Я.В., Білявська А.Г., Білявський Ю.В. Напрями та досягнення у насінництві сої. *Урожайність та якість продукції рослинництва за сучасних технологій вирощування* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції, присвяченої пам'яті професора Г.П. Жемели, м. Полтава, 30.09.2022 р. Полтава : ПДАУ, 2022. С. 124–127.

Погоріла А., Антонів С., Колісник С. Насіння сої без втрат. *The Ukrainian Farmer*. 2016. № 9. С. 84–85 [Електронний ресурс]. URL: <https://agrotimes.ua/article/nasinnya-soyi-bez-vtrat/> (дата звернення 27.01.2025).

Соя: модель сорту, новостворені неопушені лінії, насінництво, фітосанітарний стан посівів : колективна монографія / за ред. А.Г. Білявської. Полтава : ПДАУ. 2023. 187 с.

Ходаніцька О.О., Погоріла А.Г., Шевчук О.А., Ткачук О.О., Матвійчук О.А. Врожайність та якість насіння сої в умовах Правобережного Лісостепу України. *Корми і кормовиробництво*. 2024. № 98. С. 120–128. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202498-11>.

Цицюра Т.В., Темченко І.В., Семцов А.В. Статистична оцінка сортового потенціалу сої за показниками якісного хімічного складу насіння в умовах Лісостепу Правобережного. *Корми і кормовиробництво*. 2019. № 87. С. 19–26. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo201987-03>.

Цицюра Т.В., Темченко І.В., Барвінченко С.В. Оцінка пластичності та стабільності показників якості насіння сортів сої різного еколого-географічного походження. *Корми і кормовиробництво*. 2021. № 92. С. 104–115. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202192-10>.

Чернищенко П.В. Вплив крупності насіння на формування насінневої продуктивності сортів сої. *Таврійський науковий вісник*. 2008. № 59. С. 28–32.

Borowska M., Prusiński J. Effect of soybean cultivars sowing dates on seed yield and its correlation with yield parameters. *Plant, Soil & Environment*. 2021. Vol. 67 (6). P. 360–366. <https://doi.org/10.17221/73/2021-PSE>.

References

Bakhmat, O.M. (2009). Soia – kultura maibutnoho, osoblyvosti formuvannia vysokoho vrozhaiu [Soybeans – the crop of the future, features of high yield formation]. Kamianets-Podilskyi [in Ukrainian].

Biliavska, L.H., Biliavskyi, Yu.V., Shapoval, O.S., & Panchenko, S.S. (2020). Suchasnyi stan ta perspektyvy nasinnystva soi v Lisostepu Ukrainy [Current status and prospects of soybean seed production in the Forest-Steppe of Ukraine]. *Scientific Progress & Innovations*, 4, 45–52 [in Ukrainian].

Biliavska, L.H., & Rybalchenko, A.M. (2019). Minlyvist hospodarsko-tsinnnykh oznak soi v umovakh Livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Variability of economically valuable traits of soybeans in the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii* [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy], 1, 65–72. <https://doi.org/10.31210/visnyk2019.01.08> [in Ukrainian].

- Biliavska, L.H., & Pylypenko, O.V. (2016). Porady shchodo vyboru sortu soi dlia vyrobnyka [Tips for choosing a soybean variety for a producer]. *Ahroekspert [Agroexpert]*, 3, 26–27 [Electronic resource] URL: <https://agroexpert.ua/poradi-sodo-viboru-sortu-soi-dla-virobnika/> (access date 27.01.2025) [in Ukrainian].
- Kalenska, S.M., & Novytska, N.V. (2016). Travmuvannia nasinnia polovykh kultur [Damage to field crop seeds]. Kyiv. [in Ukrainian].
- Kyrychenko, V.V., Riabukha, S.S., Kobyzieva, L.N., Posylaieva, O.O., & Chernyshenko, P.V. (2016). Soia (Glycine max (L.) Merr.) [Soybean (Glycine max (L.) Merr.)] Instytut roslynnytstva im. V.Ya. Yurieva. Kharkiv [in Ukrainian].
- Kobak, S.Ya., Chorna, V.M., & Holovenko, Yu.O. (2016). Vplyv retardantiv na formuvannia vrozhaivosti nasinnia soi [The influence of retardants on the formation of soybean seed productivity]. *Kormy i kormovyrobnytstvo [Feeds and feed production]*, 97, 40–50 [in Ukrainian].
- Kokovikhina, O.S. (2022). Yakist nasinnia soi ta masa tysiachi nasynyny zalezhno vid sortovoho skladu, udobrennia ta zakhystu roslyn za umov zroshennia na pivdni Ukrainy [Soybean seed quality and thousand-seed weight depending on varietal composition, fertilisation and plant protection under irrigation conditions in southern Ukraine]. *Zroshuvane zemlerobstvo. Zbirnyk naukovykh prats [Irrigated agriculture. Collection of scientific papers.]*, 78, 57–62. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2022.78.9> [in Ukrainian].
- Mazur, O.V., Mazur, O.V., & Lozinskyi, M.V. (2020). Seleksiia ta nasynnytstvo polovykh kultur: navchalnyi posibnyk [Breeding and seed production of field crops: textbook]. Vinnytsia [in Ukrainian].
- Makrushyn, M.M., & Makrushyna, Ye.M. (2011). Nasynnytstvo: pidruchnyk [Seed production: textbook]. Simferopol [in Ukrainian].
- Nasynnytstvo bahatorichnykh ta odnorichnykh kormovykh kultur (2018). [Seed production of perennial and annual fodder crops] / Za nauk. red. Demydas H.I., Sliusar I.T. Kyiv [in Ukrainian].
- Nasynnytstvo y nasinnieznavstvo polovykh kultur (2007). [Seed production and seed science of field crops]. za nauk. red. Havryliuk M.M. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
- Petrychenko, V.F., Babych, A.O., & Ivaniuk, S.I. (2009). Peredposivna obrobka nasinnia [Pre-sowing seed treatment]. *Posibnyk ukraïnskoho khliboroba [The manual of the Ukrainian farmer]*, 244–246 [in Ukrainian].
- Riabukha, S.S., Chernyshenko, P.V., Sviatchenko, S.I., Sadovoi, O.O., & Teslia, T.O. (2019). Vplyv hidrotermichnykh chynnykh dovkillia na vrozhaivist ta biokhimichni sklad nasinnia soi [Influence of hydrothermal environmental factors on yield and biochemical composition of soybean seeds]. *Seleksiia i nasynnytstvo [Breeding and seed production]*, 115, 93–102. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2019.172785> [in Ukrainian].
- Pylypenko, O.V., Bryzhak, Ya.V., Biliavska, L.H., & Biliavskyi, Yu.V. (2022). Napriamy ta dosi-ahnennia u nasynnytstvi soi. *Urozhaivist ta yakist produktsii roslynnytstva za suchasnykh tekhnologii vyroshchuvannia, prysviachena pamiati profesora H. P. Zhemely : materialy Vseukraïnskoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii [Materials of the All-Ukrainian Scientific and Practical Internet Conference]*, Poltava, PDAU. 124–127 [in Ukrainian].
- Pohorila, L., Antoniv, S., & Kolisnyk, S. (2016). Nasinnia soi bez vtrat [Soybean seeds without loss]. *The Ukrainian Farmer*, 9, 84–85 [Electronic resource] URL: <https://agrotimes.ua/article/nasinnia-soyi-bez-vtrat/> (access date 27.01.2025) [in Ukrainian].
- Soia: model sortu, novostvoreni neopusheni linii, nasynnytstvo, fitosanitarnyi stan posviv: kolektyvna. Monohrafiia (2023). [Soybeans: variety model, newly developed non-pubescent lines, seed production, phytosanitary condition of crops: a collective monograph]. za nauk. red. Biliavska L.H. Poltavskyi derzhavnyi ahrarnyi universytet. Poltava [in Ukrainian].
- Khodanitska, O.O., Pohorila, L.H., Shevchuk, O.A., Tkachuk, O.O., & Matviichuk, O.A. (2024). Vrozhaivist ta yakist nasinnia soi v umovakh Pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Soybean seed yield and quality in the right bank forest-steppe of Ukraine6]. *Kormy i kormovyrobnytstvo [Feed and feed production]*, 98, 120–128. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202498-11> [in Ukrainian].
- Tsytsiura, T.V., Temchenko, I.V., & Semtsov, A.V. (2019). Statystychna otsinka sortovoho potentsialu soi za pokaznykamy yakisnoho khimichnoho skladu nasinnia v umovakh lisostepu pravoberezhnoho [Statistical estimation of soybean varietal potential by indicators of seed chemical composition in the right-bank forest-steppe]. *Kormy i kormovyrobnytstvo [Feed and feed production]*, 87, 19–26. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo201987-03> [in Ukrainian].

Tsytsiura, T.V., Temchenko, I.V., & Barvinchenko, S.V. (2021). Otsinka plastychnosti ta stabilnosti pokaznykiv yakosti nasinnia sortiv soi riznoho ekoloho-heohrafichnoho pokhodzhennia [Evaluation of the plasticity and stability of seed quality indicators of soybean varieties of different ecological and geographical origin]. *Kormy i kormovyrobnytstvo [Feed and feed production]*, 92, 104–115 [in Ukrainian].

Chernyshenko, P.V. (2008). Vplyv krupnosti nasinnia na formuvannia nasinnievoi produktyvnosti sortiv soi [Influence of seed size on the formation of seed productivity of soybean varieties]. *Tavrïnskyi naukovi visnyk [Tavrian Scientific Bulletin]*, 59, 28–32. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202192-10> [in Ukrainian].

Borowska, M., & Prusiński, J. (2021). Effect of soybean cultivars sowing dates on seed yield and its correlation with yield parameters. *Plant, Soil & Environment*, 67 (6), 360–366. <https://doi.org/10.17221/73/2021-PSE> [in English].

Отримано: 25.01.2025

Прийнято: 14.02.2025



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 11
Український журнал природничих наук
№ 11

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

УДК 631.431.7: 632.125:633.1
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.22>

МОДЕЛЮВАННЯ МІЛІТАРНОГО ВПЛИВУ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ НА БІОЛОГІЧНИЙ УРОЖАЙ ПШЕНИЦІ ЯРОЇ НА ҐРУНТАХ РІЗНОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ

І. В. Пліско¹, К. Ю. Романчук²

Вивчення деградаційних явищ, які відбуваються в умовах сучасного землекористування, є надзвичайно актуальним напрямом наукових досліджень в аграрній сфері. Ущільнення ґрунту є одним із найбільш поширених і негативних явищ прояву фізичної деградації, спричинених інтенсивним використанням сільськогосподарської техніки, нерегульованими технологіями обробки, а в умовах сьогодення – веденням військових дій на території України. Метою дослідження було моделювання мілітарного впливу різних рівнів ущільнення та зволоження ґрунту на проростання, ріст і продуктивність сільськогосподарських культур (на прикладі пшениці ярої) на орних ґрунтах різного гранулометричного складу Лівобережного Лісостепу України. Методи досліджень – аналітико-бібліографічний, лабораторно-модельний, математично-статистичний. Встановлено, що показник щільності будови ґрунту мав тісний зворотний зв'язок з показниками посівних якостей насіння за вирощування рослин: на супіщаному ґрунті (коефіцієнт кореляції R варіював від -0,73 до -0,83), на важкосуглинковому ґрунті – $R=-0,83$ – із показником швидкості проростання, з рештою показників мав середній зворотний зв'язок. Ущільнення ґрунту $> 1,4 \text{ г/см}^3$ та низький рівень зволоження (на рівні 60% від найменшої вологості (НВ)) призводили до погіршення показників кореневої системи та зменшення величини біологічного урожаю культури на 7 та 10% відповідно на ґрунтах важкосуглинкового на супіщаного гранулометричного складу порівняно з контролем. Таким чином, досвід моделювання впливу рівнів ущільнення та вологості ґрунту на проростання

¹ доктор сільськогосподарських наук,
старший науковий співробітник,
завідувачка лабораторії геоєкофізики ґрунтів
імені академіка НААН В.В. Медведєва
(Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії
імені О.Н. Соколовського», м. Харків)
e-mail: irinachujan@gmail.com
ORCID: 0000-0001-8111-7662

² кандидат сільськогосподарських наук,
старший науковий співробітник лабораторії геоєкофізики ґрунтів
імені академіка НААН В.В. Медведєва
(Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії
імені О.Н. Соколовського», м. Харків)
e-mail: katerina_uvarenko@ukr.net
ORCID: 0000-0002-1150-3135

насіння та врожайність сільськогосподарських культур може бути покладений в основу розробки ефективних заходів щодо упередження та подолання мілітарної деградації орних ґрунтів.

Ключові слова: вологість, гранулометричний склад, мілітарна та фізична деградація, орні ґрунти, пшениця яра, щільність будови.

MODELING THE MILITARY IMPACT OF SOIL COMPACTION ON THE BIOLOGICAL YIELD OF SPRING WHEAT ON SOILS WITH DIFFERENT GRANULOMETRIC COMPOSITION

I. V. Plisko, K. Yu. Romanchuk

The research of degradation phenomena that occur in the conditions of modern land use is an up-to-date direction of scientific research in the agrarian field. Soil compaction is one of the most widespread and negative phenomena of physical degradation caused by the intensive use of agricultural machinery, unregulated cultivation technologies, and in today's conditions, the conduct of military operations on the territory of Ukraine. The purpose of the research was to modeling the military effect of different levels of soil compaction and moistening on the germination, growth and productivity of agricultural crops (using the example of spring wheat) on arable soils of different granulometric composition of the Left Bank Forest Steppe of Ukraine. Research methods are analytical-bibliographic, laboratory-model, mathematical-statistical. It was established that the indicator of the soil bulk density had a close inverse correlation with the indicators of the sowing qualities of the seeds for growing plants: on sandy loam soil (the correlation coefficient R varied from -0.73...to -0.83). On heavy loamy soil the correlation coefficient R was -0.83 – with the rate of germination, with the rest of the indicators had an average correlation.

Soil compaction $> 1.4 \text{ g/cm}^3$ and a low level of moisture (at the level of 60% of the field soil water capacity) led to the deterioration of the root system and a decrease in the biological yield of the crop: by 7% and 10%, respectively, on heavy loam and sandy loam soils granulometric composition compared to the control. Thus, the experience of modeling the influence of compaction levels and soil moisture on seed germination and crop yield can be used as a basis for developing effective measures to prevent and overcome military degradation of arable soils.

Key words: humidity, granulometric composition, military and physical degradation, arable soils, spring wheat, soil bulk density.

Вступ

З початком широкомасштабного вторгнення російської федерації на територію України до усіх наявних видів деградації додалась ще й мілітарна деградація. За час ведення військових дій, за даними FAO, 33% українських сільськогосподарських земель зазнали суттєвої деградації. У НААН економічні збитки від деградації ґрунтів до початку війни оцінили орієнтовно в 40 млрд грн на рік (В Україні..., 2022). У зв'язку з продовженням ведення військових дій збитки від мілітарної деградації продовжують збільшуватися щодня (Концептуальні..., 2024).

Одним з видів мілітарної деградації є фізична деградація, яка особливо негативно впливає на сільськогосподарські ґрунти, що проявляється в значному погіршенні агрофізичних властивостей ґрунтів, зокрема у їх переущільненні внаслідок проходів важкої військової техніки, штучному утворенні вкрай переущільнених ділянок

у місцях її базування, створення розворотних смуг тощо. У зоні ведення військових дій на території України домінують чорноземні ґрунти зі щільністю будови $1,1\text{--}1,5 \text{ г/см}^3$. Проте загроза переущільнення (щодо вимог більшості ярих культур до посівного шару) існує на 60% ріллі країни, що становить близько 17,2 млн га (Медведєв та ін., 2020). Переущільнення ґрунтів виникає здебільшого у верхніх шарах ґрунту, особливо в їх орному шарі, при цьому глибина ущільненої колії становить 10–12 см (Пліско та ін., 2023). За надмірної вологості ґрунту збільшується глибина ущільнення у профілі ґрунту та підсилюється розвиток ерозійних процесів, може спостерігатися замулення або заболочення місцевості (Anderson et al., 2005; Peggy & Stephen, 2005).

Ґрунти різного гранулометричного складу (гранскладу) неоднаково реагують на механічне навантаження через відмінності в розмірах і структурі ґрунтових частинок. Ґрунти піщаного та супіщаного гранскладу є менш схильними до ущільнення, але їх

здатність утримувати воду є нижчою, що може впливати на доступність вологи для кореневої системи сільськогосподарських культур. Суглинкові та глинисті ґрунти навпаки добре утримують вологу, але під дією важкої техніки вони є більш схильними до ущільнення. Внаслідок проходження таких агрегатів по пухкому вологому ґрунті відбувається його деформація до глибини 60–80 см, а в окремих випадках і глибше. На важких ґрунтах у посушливих умовах відбувається руйнування структурних агрегатів ґрунту, спричиняючи розвиток процесів дефляції. Найбільше змінюється щільність будови орного шару, її максимальні значення досягають 1,35–1,45 г/см³ після 4–7 проходів (Медведєв, 2002).

Україна як одна із провідних країн, що забезпечує світову продовольчу безпеку, внаслідок ведення військових дій на її території зазнає значних збитків у вигляді недоборів урожаїв сільськогосподарських культур. За даними багатьох вчених (Dejong-Hughes et al., 2001; Тонха та ін., 2020; Shaheb et al., 2021; Асмаковський, 2022), продуктивність (врожайність) рослин на ущільнених ґрунтах може падати на 40–60%.

Таким чином, всебічні дослідження ущільнення ґрунту та його вплив на сільськогосподарські рослини у сучасних умовах набувають особливої актуальності, адже, за даними науковців, близько 20% земель сільськогосподарського призначення зазнали значного негативного впливу воєнних дій (Ґрунтовий..., 2024). Актуальність цих досліджень підсилюється також необхідністю розробки ефективних заходів щодо подолання наслідків переущільнення орних ґрунтів як

прояву фізичної деградації, що є складовою частиною мілітарної деградації ґрунтів сільськогосподарського призначення.

Мета дослідження – моделювання різних рівнів ущільнення та вологості ґрунтів для вивчення їхнього впливу на проростання та особливості формування біологічного урожаю пшениці ярої на ґрунтах різного гранулометричного складу для оцінювання впливу прояву фізичної деградації орних ґрунтів.

Матеріал і методи

Для досягнення поставленої мети було закладено лабораторно-модельний дослід, схему якого представлено у табл. 1. Схема досліду включала 12 варіантів, у яких було штучно змодельовано два рівні ущільнення – оптимальний (1,1–1,2 г/см³) та надмірний (>1,4 г/см³) на фоні трьох рівнів вологості ґрунту – низького, середнього та високого, що відповідно становило 60, 80 та 100% від найменшої вологоємності (далі – НВ).

Об'єктами дослідження обрано ґрунти, розташовані у Харківському районі Харківської області, з різним гранулометричним складом: важкосуглинковий ґрунт представлено чорноземом опідзоленим на лесоподібному суглинку (відібрано на дослідному полі ДП ДГ «Граківське» поблизу с. Коротич), супіщаний ґрунт представлено лучним глибокослабосолонцюватим солончаковим на алювіальних і делювіальних відкладах (відібрано поблизу сел. Пісочин). Вирощувана культура – пшениця тверда яра (*Triticum durum* Desf) сорту Ксантія. Дослідження проведено у лабораторних умовах шляхом вирощування рослин у світловій шафі у вегетаційних посудинах об'ємом 1,4 дм³ у 3-кратному повторенні.

Таблиця 1

Схема лабораторно-модельного дослідження

№ варіанта	Гранулометричний склад ґрунту	Щільність будови ґрунту, г/см ³	Вологість ґрунту, % від НВ
1	важкосуглинковий	1,1–1,2	60
2			80
3			100
4		> 1,4	60
5			80
6			100
7	супіщаний	1,1–1,2	60
8			80
9			100
10		> 1,4	60
11			80
12			100

Рівні ущільнення ґрунту, задані схемою, були створені штучно дерев'яним ущільнювачем шляхом трамбування. Кількість ударів для створення необхідних рівнів ущільнення була попередньо встановлена експериментальним шляхом. Для розрахунку норми поливу перед закладанням досліду визначали польову вологість та найменшу вологемність ґрунту. Протягом експерименту здійснювали фенологічні спостереження за фазами розвитку рослин пшениці ярої. Проводили підрахунок пророслого насіння, фіксували дати появи 1-го, 2-го, 3-го та 4-го листків, проводили морфометричні виміри висоти рослин у динаміці за фазами розвитку відповідно до міжнародної шкали ВВСН, яку в Україні почали активно використовувати з 2013 року (Порівняльна..., 2018). Тривалість проведення лабораторно-модельного досліду до макростадії 1: розвиток листків; 14 – стадії четвертого розгортаного листка.

Визначено морфологічні параметри кореневої системи – довжину та масу. Розраховано коефіцієнт продуктивності коренів (як відношення сухої маси надземної частини рослин на посудину до сухої маси коренів) та біологічний урожай вирощуваної культури як суму сирої біологічної (надземної і кореневої) маси рослин.

За результатами досліду розраховано показники енергії проростання (Е, %), схожість (С, %), швидкість проростання (Ш, діб), дружність проростання (Д, %) та індекс проростання (ІП) насіння. Енергію проростання (здатність насіння швидко й одночасно проростати) визначали як кількість проростків за три дні від початку проростання.

Швидкість проростання насіння визначали за формулою Піпера (1):

$$Ш = n_1 S_1 + n_2 S_2 + \dots + n_m S_m / n_1 + n_2 + n_m, \quad (1)$$

де Ш – середня швидкість проростання, діб; n – кількість пророслих насінин за добу у дні підрахунку; m – кінцевий день підрахунку; s – строки проростання.

Показник дружності проростання обчислювали за формулою 2:

$$Д = С / S, \quad (2)$$

де Д – дружність проростання, %; С – кінцева схожість насіння, %; S – кількість діб проростання.

Індекс проростання розраховували за формулою Walker-Simmons (3):

$$ІП = (7n_1 + 6n_2 + \dots + 1n_7) / 7N, \quad (3)$$

де ІП – індекс проростання; $n_1, n_2, \dots, n_7$ – кількість насінин, пророслих на перший, другий і в наступні дні до сьомого дня відповідно; N – загальна кількість насінин (Формування..., 2023).

Математичну та статистичну обробку результатів лабораторно-модельного досліду виконано за допомогою кореляційного аналізу з використанням програмних пакетів Statistica 6.0, Microsoft Excel (Єгоршин і Лісовий, 2005).

Результати

У таблиці 2 наведені посівні якості насіння пшениці ярої залежно від рівня ущільнення та зволоження ґрунту. За результатами проведених досліджень найменша енергія (47%) та дружність проростання (0,75–0,79%) вирощуваної культури спостерігалася за надмірного ущільнення ґрунту ($>1,4$ г/см³). Схожість також мала тенденцію до зниження на варіантах з ущільненим ґрунтом. Причому на важкосуглинковому ґрунті найнижчу лабораторну схожість (60%) зафіксовано на варіантах як низького, так і високого рівнів зволоження. На варіантах із супіщаним ґрунтом середній рівень вологості в поєднанні з надмірною щільністю будови став причиною найменшого рівня лабораторної схожості – 63%.

Найбільше значення індексу проростання зафіксовано на варіантах з середнім та високим рівнем зволоження за оптимального рівня щільності будови ґрунту як на важкосуглинковому (0,77), так і на супіщаному (0,83) ґрунті. Цей індекс відображає те, наскільки швидко та ефективно проростає насіння: чим вищий показник індексу проростання, тим міцнішим та здоровішим є насіння.

За результатами кореляційного аналізу було встановлено взаємозв'язки між досліджуваними показниками (табл. 3; 4). Відповідно до отриманих даних показник щільності будови ґрунту мав тісний зворотний зв'язок з показниками посівних якостей насіння за вирощування рослин на супіщаному ґрунті (від -0,73...до -0,83). На важкосуглинковому ґрунті фактор щільності будови мав тісний зворотний зв'язок із показником швидкості проростання (-0,83), з рештою показників мав середній зворотний зв'язок, що є свідомством того, що ущільнення ґрунту створює негативні умови для проростання та розвитку сільськогосподарських рослин.

У ході вимірювання висоти рослин відповідно до фенологічних фаз розвитку

Таблиця 2

Посівні якості насіння пшениці ярої залежно від рівня ущільнення та зволоження ґрунту

№ варіанта	Грансклад ґрунту	Щільність будови ґрунту, г/см ³	Вологість ґрунту, % від НВ	Енергія проростання, %	Схожість, %	Швидкість проростання, шт/1 день	Дружність проростання, %	Індекс проростання
1	важкосуглинковий	1,1–1,2	60	53	63	5,5	0,83	0,63
2			80	57	67	5,8	0,79	0,77
3			100	67	77	5,4	0,96	0,63
4		>1,4	60	63	60	4,8	0,75	0,61
5			80	47	63	5,1	0,75	0,63
6			100	53	60	4,2	0,79	0,63
7	супіщаний	1,1–1,2	60	73	80	5,6	1,00	0,80
8			80	77	80	6,4	1,00	0,80
9			100	80	83	7,0	1,04	0,83
10		>1,4	60	67	77	3,6	0,96	0,77
11			80	47	63	5,8	0,79	0,63
12			100	60	70	4,7	0,88	0,70

пшениці ярої встановлено, що надмірне ущільнення ґрунту призводило до затримки росту рослин на ґрунтах як важкосуглинкового, так і супіщаного гранскладу (табл. 5). Низький рівень зволоження лише посилював негативний вплив ущільнення на динаміку зростання вирощуваної культури. Так, у фазі ВВСН 11 на стадії 1-го листка рослини, що вирощувалися за оптимальної щільності, були на 26 та 13% вищими за рослин, що вирощувалися на надмірно ущільненому ґрунті важкосуглинкового та супіщаного

гранскладу відповідно. Варто відмітити, що показники висоти рослин в цілому були кращими на ґрунті супіщаного гранскладу порівняно з важкосуглинковим.

На час збирання біологічного урожаю у фазі ВВСН 14 (стадія 4-го листка) найнижчі рослини зафіксовано на варіантах з низьким рівнем зволоження та надмірною щільністю будови, що становило 29,9 см та 34,4 см відповідно на ґрунтах важкосуглинкового та супіщаного гранскладу. Слід відмітити, що рослини, які вирощувалися на супіщаному

Таблиця 3

Кореляційні зв'язки між досліджуваними факторами та показниками посівних якостей насіння пшениці ярої (за вирощування на важкосуглинковому ґрунті)

Назва показника	Щільність, г/см ³	Вологість, % від НВ	Енергія проростання, %	Схожість, %	Середня швидкість проростання, шт/1 добу	Дружність проростання, %	Індекс проростання
Щільність, г/см ³	1						
Вологість, % від НВ	0	1					
Енергія проростання, %	-0,34956	0,122322	1				
Схожість, %	-0,68266	0,487713	0,588056	1			
Середня швидкість проростання, шт/1 добу	-0,83054	-0,27386	0,156329	0,55607	1		
Дружність проростання, %	-0,67369	0,483679	0,606725	0,88808	0,332451	1	
Індекс проростання	-0,49237	0,075378	-0,03688	0,199569	0,589802	-0,07721	1

Таблиця 4

Кореляційні зв'язки між досліджуваними факторами та показниками посівних якостей насіння пшениці ярої (за вирощування на супіщаному ґрунті)

Назва показника	Щільність, г/см ³	Вологість, % від НВ	Енергія проростання, %	Схожість, %	Середня швидкість проростання, шт/1 добу	Дружність проростання, %	Індекс проростання
Щільність, г/см ³	1						
Вологість, % від НВ	0	1					
Енергія проростання, %	-0,83294	0	1				
Схожість, %	-0,79732	-0,118365	0,987572	1			
Середня швидкість проростання, шт/1 добу	-0,73495	0,459250	0,383727	0,29462	1		
Дружність проростання, %	-0,80207	-0,095837	0,98990	0,99968	0,307214	1	
Індекс проростання	-0,79732	-0,11837	0,98757	0,99970	0,29462	0,99968	1

Таблиця 5

Динаміка висоти рослин пшениці ярої (см) залежно від щільності будови та вологості ґрунтів різного гранулометричного складу

№ варіанта	Гранулометричний склад ґрунту	Щільність будови ґрунту, г/см ³	Вологість ґрунту, % від НВ	Макростадія 1: розвиток листків (масові сходи)	ВВСН 11 – стадія 1-го листка	ВВСН 12 – стадія 2-го листка	ВВСН 13 – стадія 3-го листка	ВВСН 14 – стадія 4-го листка
1	важкосуглинковий	1,1–1,2	60	3,3	18,3	18,5	25,0	30,6
2			80	3,0	19,3	21,7	28,3	33,0
3			100	3,7	18,3	18,2	25,2	32,2
4		>1,4	60	4,0	18,3	17,8	25,7	29,9
5			80	3,2	15,3	17,8	26,0	30,6
6			100	4,0	18,3	19,7	27,5	32,4
7	супіщаний	1,1–1,2	60	4,3	20,7	19,7	30,8	36,9
8			80	5,0	19,3	20,0	27,7	37,3
9			100	4,2	17,3	17,5	28,0	36,7
10		>1,4	60	3,5	17,0	18,3	26,3	34,4
11			80	3,5	17,3	18,0	28,2	36,8
12			100	3,5	17,0	21,5	30,0	38,5

ґрунті, мали кращу динаміку за висотою порівняно з важкосуглинковим ґрунтом.

Встановлено погіршення показників розвитку кореневої системи рослин за надмірного ущільнення ґрунту порівняно з його оптимальним рівнем. Крім того, зафіксовано вплив вологості ґрунту на довжину кореневої системи пшениці ярої (рис. 1). Так, за низького рівня зволоження простежувалося

збільшення довжини коренів на 12% порівняно із середнім рівнем зволоження за вирощування рослин на супіщаному ґрунті. На важкосуглинковому ґрунті спостерігалася аналогічна тенденція: підвищення рівня ущільнення ґрунту до надмірного призвело до зменшення довжини коренів рослин на 24% порівняно з оптимальним рівнем щільності будови за середньої вологості ґрунту.

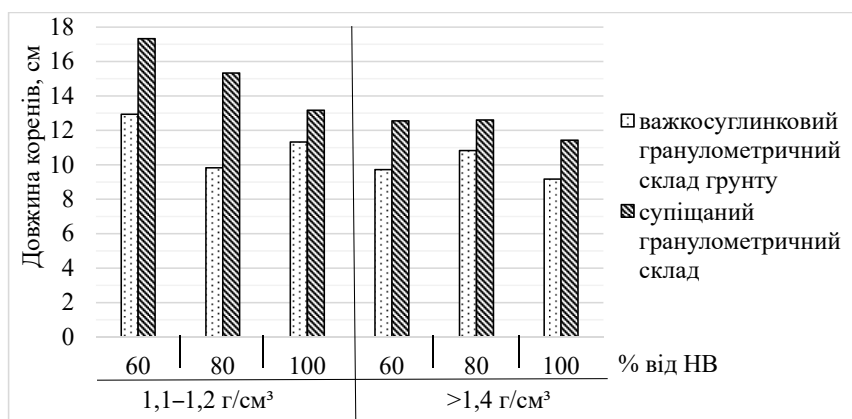
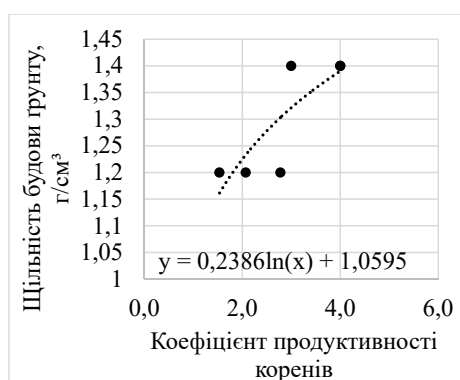


Рис. 1. Вплив щільності будови та вологості ґрунту на довжину коренів пшениці ярої

Водночас встановлено, що коефіцієнт продуктивності кореневої системи збільшувався зі зростанням ущільнення ґрунту до надмірного, що, напевно, пов'язано з невеликими розмірами коренів, але з одночасним посиленням їх фізіологічної активності та збільшенням надземної маси (рис. 2).

У ході аналізу даних щодо продуктивності пшениці ярої встановлено, що за вирощування рослин на супіщаному ґрунті отримано вищі показники. Найбільший біологічний урожай рослин сформувався за оптимального рівня щільності будови та середнього рівня зволоження, що на супіщаному ґрунті становило 4,02 г/посудину.

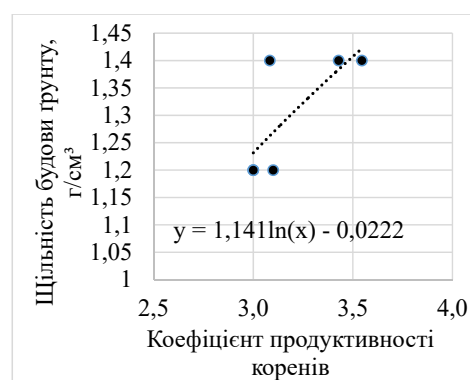
Найнижчий біологічний урожай вирощуваної культури зафіксовано в умовах надмірного ущільнення ґрунту важкосуглинкового гранскладу як за низького, так і за високого рівня зволоження – 2,15 г/посудину та 1,82 г/посудину відповідно – біологічного урожаю культури за всіма варіантами практично у 2 рази, що показано на рис. 3. Тобто отримані дані свідчать про те, що за вирощування культури на ґрунті важкосуглинкового гранскладу надмірне ущільнення призводило до зменшення біологічного урожаю пшениці ярої на 5 та 10% відповідно за середнього та низького рівнів зволоження ґрунту. За вирощування культури на над-



Регресійна статистика:

- множинний $R=0,81789$;
- $r^2=0,66895$;
- нормований $r^2=0,55860$;
- стандартна похибка= $0,07277$

а)



Регресійна статистика:

- множинний $R=0,69049$;
- $r^2=0,47647$;
- нормований $r^2=0,30236$;
- стандартна похибка= $0,0915$

б)

Рис. 2. Регресійна залежність між коефіцієнтом продуктивності коренів та щільністю будови ґрунту (а – важкосуглинковий грансклад; б – супіщаний грансклад)

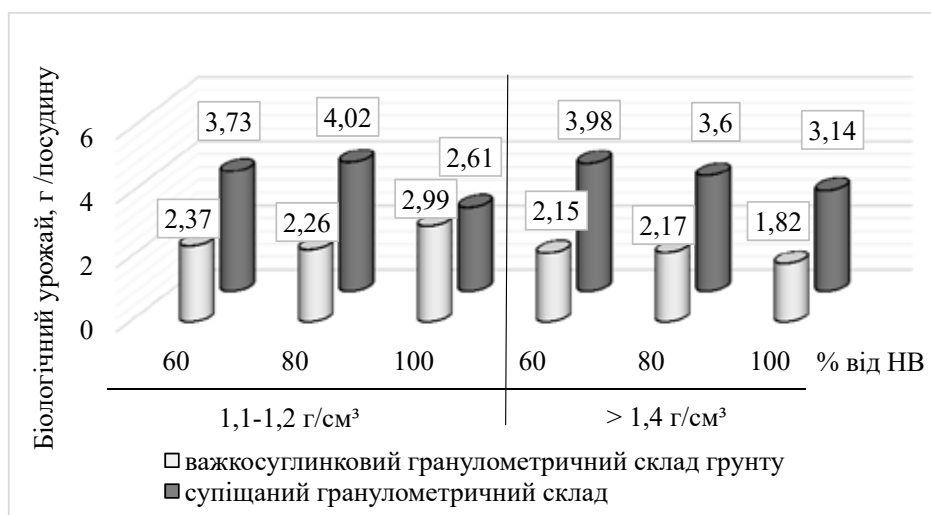


Рис. 3. Біологічний урожай пшениці ярої залежно від рівнів ущільнення та вологості за різного гранулометричного складу ґрунтів

мірно ущільненому ґрунті супіщаного гранскладу біологічний урожай культури також знижувався відповідно на 11 та 7% за середнього та низького рівня вологості ґрунту.

Чітко простежувалася тенденція до зниження біологічного урожаю пшениці ярої також за надмірного ущільнення за середнього рівня зволоження ґрунту. Фіксувалося зниження на 12% порівняно з оптимальною щільністю будови.

Обговорення

Ущільнення ґрунту стає причиною зменшення продуктивності рослин у екосистемах (в тому числі врожайності агроєкосистем). Саме щільність будови ґрунту є досить впливовим чинником для швидкості появи сходів рослин. В ущільненому ґрунті обмежується доступ повітря до рослин, що знижує швидкість і дружність проростання. За результатами низки наукових досліджень (Sanat et al, 2015; Криlach, 2019), ущільнення ґрунту призводить до зниження кількості пророслих насінин та погіршення розвитку кореневої системи. Негативним наслідком переущільнення чорноземних ґрунтів є зменшення потужності й продуктивності кореневих систем, ослаблення адаптації рослин до нестачі вологи, різке погіршення якості орного шару після обробітку через перевагу брил (Бережняк та ін., 2022). Крім того, негативний ефект ущільнення зростає у випадках, коли ґрунт недостатньо або надмірно зволожений, що призводить до виникнення анаеробних умов.

Проведені дослідження довели існування тісного зворотного зв'язку між щільністю будови ґрунту та показниками посівних яко-

стей насіння, що свідчить про ускладнене проникнення кисню та води, які необхідні для проростання насіння за високої щільності будови ґрунту. Подібні закономірності висвітлюються й іншими дослідженнями, де зазначається негативний вплив надмірного ущільнення на аерацію та водопроникність ґрунту (Frene et al, 2024).

Середній рівень зволоження в поєднанні з оптимальною щільністю будови ґрунту забезпечував найкращі умови для формування біологічного урожаю пшениці ярої: на супіщаному ґрунті за таких умов урожайність становила 4,02 г/посудину, на важкосуглинковому – 3,6 г/посудину. Натомість низький рівень зволоження за надмірної щільності будови значно знижував урожайність, особливо на ґрунті важкосуглинкового гранскладу через обмеження транспортування води та кисню. Надмірне ущільнення ґрунту призводило до зменшення біологічного урожаю пшениці ярої в межах від 5 до 12% за різних рівнів зволоження на ґрунтах як важкосуглинкового, так і супіщаного гранскладу.

Важливо відмітити, що ґрунти супіщаного гранскладу виявилися менш чутливими до ущільнення через їхню більшу водопроникність та аерацію. Надмірне ущільнення важкосуглинкового ґрунту створювало більш критичні умови для проростання та росту рослин пшениці ярої. У науковій літературі існують роботи, де підтверджується, що важкі ґрунти є більш вразливими до фізичної деградації (Hu et al., 2023).

Отримані результати мають важливе практичне значення для відновлення фізич-

них властивостей ґрунтів, пошкоджених унаслідок інтенсивного використання або військових дій. Аналіз наукової літератури (Цицюра, 2024; Krylach & Romanchuk, 2022) та власні дослідження дозволять у подальшому розробити ефективні заходи з відновлення мілітарно пошкоджених ґрунтів шляхом адаптації сільськогосподарських культур до несприятливих агрофізичних параметрів ґрунту.

Висновки

За результатами лабораторно-модельного дослідження щодо моделювання мілітарного впливу ущільнення на фоні різних рівнів вологості ґрунту на показники росту та розвитку рослин пшениці ярої та її продуктивності (біологічний врожай) встановлено, що найбільше значення індексу проростання зафіксовано на варіантах із середнім та високим рівнями зволоження за оптимального рівня щільності будови ґрунту на ґрунтах як важкосутлинкового, так і супіщаного

гранскладу. Надмірне ущільнення ґрунту, як і низький рівень зволоження, призводило до затримки появи сходів, зменшення висоти рослин, погіршення показників кореневої системи та біологічного урожаю пшениці ярої. Простежувався також вплив гранулометричного складу ґрунтів на продуктивність вирощуваної культури. Зокрема, встановлено, що за вирощування рослин на супіщаному ґрунті отримано кращі показники схожості, енергії, швидкості, дружності та індексу проростання, висоти рослин, показники кореневої системи та біологічного урожаю культури. Отримані дані дозволять обґрунтувати заходи з відновлення мілітарно пошкоджених ґрунтів шляхом адаптації сільськогосподарських культур до несприятливих агрофізичних параметрів ґрунту, зокрема надмірного ущільнення ґрунтів, що є супроводжуваним фактором фізичної деградації орних ґрунтів унаслідок ведення військових дій на території України.

Список використаної літератури

- Асмаковський Є.В. Вплив бойових дій на лісові природно-заповідні території басейну річки Снов в межах Семенівської територіальної громади Чернігівської області. *Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології* : збірник матеріалів Національного форуму, 24–25 листопада 2022 р., м. Київ. Київ : Центр екологічної освіти та інформації, 2022. С. 192–193.
- Бережняк Є.М., Наумовська О.І., Бережняк М.Ф. Деградаційні процеси в ґрунтах України та їх негативні наслідки для довкілля. *Біологічні системи: теорія та інновації*. 2022. Т. 13. № 3–4. С. 96–109. [https://doi.org/10.31548/biologiya13\(3-4\).2022.014](https://doi.org/10.31548/biologiya13(3-4).2022.014).
- В Україні шукають шляхи відновлення деградованого ґрунту: проблему ускладнила війна, але вихід є. БТУ-ЦЕНТР. 2022 [Електронний ресурс]. URL: <https://btu-center.com/news/v-ukraini-shukayut-shlyakhi-vidnovlennya-degradovanogo-gruntu-problemu-uskladnila-viyna-ale-vikhid/> (дата звернення: 17.01.2025).
- Ґрунтовий покрив України в умовах воєнних дій: стан, виклики, заходи з відновлення : монографія / за ред. С.А. Балюка, А.В. Кучера, М.І. Ромащенко. Київ : Аграрна наука, 2024. 340 с. <https://doi.org/10.31073/978-966-540-612-9>.
- Єгоршин О.О., Лісовий М.В. Математичне планування польових дослідів та статистична обробка експериментальних даних. Харків, 2005. 193 с.
- Концептуальні підходи до відновлення ґрунтів, що постраждали від збройної агресії : монографія / за ред. С.А. Балюка, А.В. Кучера, І.В. Пліско. Київ : Аграрна наука, 2024. 216 с. <https://doi.org/10.31073/978-966-540-604-4>.
- Криlach С.І. Ріст та продуктивність кореневої системи сільськогосподарських культур залежно від агрофізичних характеристик ґрунту. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2019. Вип. 88. С. 68–73. <https://doi.org/10.31073/acss88>.
- Медведев В.В. Моніторинг ґрунтів України. Харків : ПФ «Антиква», 2002. 428 с.
- Медведев В.В., Пліско І.В., Криlach С.І., Накісько С.Г., Уваренко К.Ю. Фізична деградація орних ґрунтів України (оцінювання, профілактика, призупинення). Харків : ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», 2020. 110 с.
- Пліско І.В., Романчук К.Ю., Криlach С.І. Механічна та фізична деградація орних ґрунтів внаслідок ведення військових дій в Україні. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 10. С. 5–12. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202310-01>.
- Порівняльна характеристика шкал росту й розвитку зернових культур / С.М. Каленська, О.І. Присяжнюк, О.Ю. Половинчук, Н.В. Новицька. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. Том 14. № 4. С. 406–414. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.4.2018.151906>.

Тонха О.А., Піковська О.В., Балаєв А.Д. Охорона ґрунтів від вітрової ерозії в сучасних умовах. НУБіП України. 2020 [Електронний ресурс]. URL: <https://nubip.edu.ua/node/75451> (дата звернення 20.01.2025).

Формування посівних якостей насіння зернобобових і зернових культур / А.В. Баган, С.М. Шакалій, С.О. Юрченко, О.О. Четверик. *Аграрні інновації*. 2023. № 19. С. 7–11. <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2023.19.1>.

Цицюра Я.Г. Ґрунтореабілітаційний потенціал редьки олійної за її сидерального використання з позиції відновлення базових агрофізичних властивостей. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 10. С. 185–196. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.10.2024.17>.

Anderson A., Palazzo A., Ayers P., Fehmi J., Shoop S., Sullivan P. Assessing the impacts of military vehicle traffic on natural areas. Introduction to the special issue and review of the relevant military vehicle impact literature. *Journal of Terramechanics*. 2005. Vol. 42. P. 143–158. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2005.01.001>.

Dejong-Hughes J., Moncrief J., Voorhees W., Swan J. Soil compaction: causes, effects and control. St. Paul, MN: University of Minnesota Extension Service, 2001. 16 p. [Електронний ресурс]. URL: <https://conservancy.umn.edu/handle/11299/55483> (дата звернення: 20.01.2025).

Frene J.P., Pandey B.K., Castrillo G. Under pressure: elucidating soil compaction and its effect on soil functions. *Plant Soil*. 2024. Vol. 502. P. 267–278. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06573-2>.

Hu W., Cichota R., Beare M., Müller K., Drewry J., Eger A. Soil structural vulnerability: Critical review and conceptual development. *Geoderma*. 2023. Vol. 430. 116346. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116346>.

Krylach S., Romanchuk K. Methods of crop adaptation to unfavorable agrophysical parameters of the arable soil layer. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2022. Vol. LXV. Issue 1. P. 77–84 [Електронний ресурс]. URL: https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2022/issue_1/Art9.pdf (дата звернення: 20.01.2025).

Peggy S.A., Stephen J.T. Impact of M1A1 main battle tank disturbance on soil quality, invertebrates, and vegetation characteristics. *Journal of Terramechanics*. 2005. Vol. 42. Is. 3–4. P. 159–176. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2004.10.014>.

Sanat G., Khattak G., Webster C., Saeed I., Khan A.J. Effect of soil strength on roots and vegetative growth of wheat at seedling stage. *Pakistan Journal of Botany*. 2015. Vol. 47 (2). P. 523–526.

Shaheb M.R., Venkatesh R., Shearer S.A. A Review on the effect of soil compaction and its management for sustainable crop production. *Journal of Biosystems Engineering*. 2021. Vol. 46. P. 417–439. <https://doi.org/10.1007/s42853-021-00117-7>.

References

Asmakovskyi, Ye.V. (2022). Vplyv boiovykh dii na lisovi pryrodno-zapovidni terytorii basynu richky Snov v mezhakh Semenivskoi terytorialnoi hromady chernihivskoi oblasti [The impact of hostilities on the forest nature reserve areas of the Snov River basin within the Semenivka territorial community of Chernihiv region]. *Zbirka materialiv Natsionalnoho forumu "Povodzhennia z vidkhodamy v Ukraini: zakonodavstvo, ekonomika, tekhnolohii"*. [Collection of materials of the National Forum "Waste Management in Ukraine: Legislation, Economics, Technologies"]. Kyiv : Center for Environmental Education and Information, P. 192–193 [in Ukrainian].

Berezhniak, E., Naumovska, O., & Berezhniak, M. (2022). Dehradatsiini protsesy v gruntakh Ukrainy ta yikh nehatyvni naslidky dlia dovkillia [Degradation processes in the soils of Ukraine and their negative consequences for the environment]. *Biologichni systemy: teoriia ta innovatsii* [Biological Systems: Theory and Innovation], 13 (3–4), 96–109. [https://doi.org/10.31548/biologiya13\(3-4\).2022.014](https://doi.org/10.31548/biologiya13(3-4).2022.014) [in Ukrainian].

V Ukraini shukaiut shliakhy vidnovlennia dehradovanoho gruntu: problemu uskladnyla viina, ale vykhid ye (2022). [In Ukraine, people are looking for ways to restore degraded soil: the problem was caused by the virus, but it was removed]. BTU-Centre. [Electronic resource] URL: <https://btu-center.com/news/v-ukraini-shukayut-shlyakhi-vidnovlennya-degradovanogo-gruntu-problemu-uskladnyla-viyna-ale-vikhid-/> (access date 17.01.2025) [in Ukrainian].

Ґрунтові покрови України в умовах воєнних дій: стан, виклики, заходи з відновлення: монографія (2024). [Soil cover of Ukraine in the conditions of military operations: state, challenges, recovery measures: monograph] / edited by S.A. Balyuka, A.V. Kuchera, M.I. Chamomile Kyiv : Agrarian Science. 340 p. <https://doi.org/10.31073/978-966-540-612-9>. [in Ukrainian].

Yehorshyn, O.O., & Lisovyi, M.V. (2005). Matematychnе planuvannia polovykh doslidiv ta statystychna obrobka eksperymentalnykh danykh [Mathematical planning of field experiments and statistical processing of experimental data]. Kharkiv, 193 p. [in Ukrainian].

Balyuk, S.A., Kucher, A.V., & Plisko, I.V. (eds). (2024). Kontseptualni pidkhody do vidnovlennia gruntiv, shcho postrazhdaly vid zbroinoi ahresii: monohrafiia [Conceptual approaches to the restoration of soils affected by armed aggression: monograph]. Kyiv.: Agrarna nauka, 216 p. [in Ukrainian].

Krylach, S.I. (2019). Rist ta produktyvnist korenevoi systemy silskohospodarskykh kultur zalezhno vid ahrofizychnykh kharakterystyk gruntu [Growth and productivity of the agricultural crops root system depending on soil agrophysical characteristics]. *Ahrokhimiia i gruntoznavstvo [AgroChemistry and Soil Science]*, 88, 68–73. <https://doi.org/10.31073/acss88-09> [in Ukrainian].

Medvedev, V.V. (2002). Monitorynh gruntiv Ukrayiny [Monitoring of soils of Ukraine]. Kharkov : PF “Antykva”, 428.

Medvedev, V.V., Plisko, I.V., Krylach, S.I., Nakisko, S.G., & Uvarenko, K.Yu. (2020). Fizychna dehradatsiia ornykh gruntiv Ukrainy (otsiniuvannia, profilaktyka, pryzupynennia) [Physical degradation of arable soils of Ukraine (assessment, prevention, suspension)]. Kharkiv : NSC “Institute of Soil Science and Agrochemistry named after O.N. Sokolovsky”, 110 p. [in Ukrainian].

Plisko, I., Romanchuk, K., & Krylach, S. (2023). Mekhanichna ta fizychna dehradatsiia ornykh gruntiv vnaslidok vedennia viiskovykh dii v Ukraini [Mechanical and physical degradation of arable soils as a result of military operations in Ukraine]. *Visnyk agrarnoi nauky [Bulletin of Agricultural Science]*, 101 (10), 5–12. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202310-01> [in Ukrainian].

Kalenska, S.M., Prysiashniuk, O.I., Polovynchuk, O.Yu., & Novytska, N.V. (2018). Porivnialna kharakterystyka shkal rostu y rozvytku zernovykh kultur [Comparative characteristics of the growth and development of grain crops]. *Plant varieties studying and protection*, 14 (4), 406–414. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.4.2018.151906> [in Ukrainian].

Tonkha, O.L., Pikovska, O.V., & Balayev, A.D. (2020). Okhorona gruntiv vid vitrovoi erozii v suchasnykh umovakh [Soil protection from wind erosion in modern conditions]. NUBiP of Ukraine. [Electronic resource] URL: <https://nubip.edu.ua/node/75451> (access date 20.01.2025) [in Ukrainian].

Bahan, A.V., Shakalii, S.M., Yurchenko, S.O., & Chetveryk, O.O. (2023). Formuvannia posivnykh yakosti nasinnia zernobobovykh i zernovykh kultur [Formation of sowing qualities of legume and grain cropsseeds]. *Ahrarni innovatsii [Agrarian innovations]*, 19, 7–11. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.19.1> [in Ukrainian].

Tsytsiura, Ya.G. (2024). Gruntoreabilitatsiinyi potentsial redky oliinoi za yii syderalnoho vykorystannia z pozytsii vidnovlennia bazovykh ahrofizychnykh vlastyvosti [Soil rehabilitation potential of oil radish for its green manure use from the point of view of restoration of basic agrophysical properties]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychykh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, (10), 185–196. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.10.2024.17> [in Ukrainian].

Anderson, A., Palazzo, A., Ayers, P., Fehmi, J., Shoop, S., & Sullivan, P. (2005). Assessing the impacts of military vehicle traffic on natural areas. Introduction to the special issue and review of the relevant military vehicle impact literature. *Journal of Terramechanics*, 42, 143–158. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2005.01.001> [in English].

Dejong-Hughes, J., Moncrief, J., Voorhees, W., & Swan, J. (2001). Soil compaction: causes, effects and control. St. Paul, MN: University of Minnesota Extension Service, 16 [Electronic resource] <https://conservancy.umn.edu/handle/11299/55483> (access date 20.01.2025) [in English].

Frene, J.P., Pandey, B.K., & Castrillo, G. (2024). Under pressure: elucidating soil compaction and its effect on soil functions. *Plant and Soil*. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06573-2> [in English].

Krylach, S., & Romanchuk, K. (2022). Methods of crop adaptation to unfavorable agrophysical parameters of the arable soil layer. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, LXV, 1, 77–84 [in English].

Peggy, S.A., & Stephen, J.T. (2005). Impact of M1A1 main battle tank disturbance on soil quality, invertebrates, and vegetation characteristics. *Journal of Terramechanics*, 42 (3–4), 159–176. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2004.10.014> [in English].

Sanat, G., Khattak, G., Webster, C., Saeed, I., & Khan, A. J. (2015). Effect of soil strength on roots and vegetative growth of wheat at seedling stage. *Pakistan Journal of Botany*, 47, 523–526 [in English].

Shaheb, M.R., Venkatesh, R., & Shearer, S.A. (2021). A Review on the Effect of Soil Compaction and its Management for Sustainable Crop Production. *Journal of Biosystems Engineering*, 46 (4), 417–439. <https://doi.org/10.1007/s42853-021-00117-7> [in English].

Hu, W., Cichota, R., Beare, M., Müller, K., Drewry, J., & Eger, A. (2023). Soil structural vulnerability: Critical review and conceptual development. *Geoderma*, 430, 116346. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116346> [in English].

Отримано: 21.01.2025

Прийнято: 17.02.2025



УДК 631.4:638.132(477.41/.42)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.23>

ФІТОРЕМЕДІАЦІЯ ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОГО ҐРУНТУ ЗА ВИРОЩУВАННЯ НЕКТАРОПИЛКОНОСНИХ РОСЛИН В УМОВАХ ПОЛІССЯ

С. Ф. Разанов¹, М. І. Куценко²

Ґрунтове середовище характеризується накопиченням різноманітних речовин, у тому числі і токсичних, таких як радіонукліди. У процесі експлуатації земельних ресурсів кількість токсичних речовин постійно змінюється внаслідок їх колообігу. Частина токсикантів у ґрунті надходить природним шляхом з породою та атмосферними опадами, а частина – в результаті техногенної діяльності населення.

Останнім часом більшість радіоактивних речовин надходить у ґрунт, зокрема в орний його прошарок, внаслідок використання атомної енергетики, особливо під час різноманітних аварій та хімізації галузі рослинництва. За таких умов виникає потреба в контролі за радіоактивними речовинами в ґрунтах та проведенні заходів щодо підвищення їх екологічної безпеки. Одним із вискооефективних екологічних заходів щодо зниження вмісту в ґрунтах радіоактивних елементів є фіторемедіація.

Ми виявили, що нектаропилконосні рослини, такі як буркун білий, розторопша плямиста, голова-тень круглоголовий, еспарцет піщаний, люпин вузьколистий, фацелія пажитколиста та вика яра, мають певну схильність до накопичення у своїй біомасі ¹³⁷Cs, ⁴⁰K, ²²⁶Ra та ²³²Th, що може бути ефективним при комплексному підході до відновлення порушених ґрунтів сільськогосподарських угідь, які зазнали техногенного забруднення.

У результаті проведених досліджень встановлено, що ефективність фіторемедіації дерново-підзолистого ґрунту залежала від ботанічного походження рослин, урожайності та виду радіоактивних речовин. Найвищий рівень виведення з ґрунту радіоактивних речовин з урожаєм нектаропилконосних рослин спостерігався за ⁴⁰K. Сумарна маса радіоактивних речовин ¹³⁷Cs, ⁴⁰K, ²²⁶Ra та ²³²Th, яка виноситься з урожаєм та пилконосними рослинами, становить до 7 978 374,2 Бк з 1 гектару.

У зростанні регресії виведення з дерново-підзолистого ґрунту радіоактивних речовин з урожаєм нектаропилконосних рослин спостерігається така послідовність: фацелія пажитколиста → вика

¹ доктор сільськогосподарських наук, професор,
професор кафедри лісового та садово-паркового господарства
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)
e-mail: razanovsergej65@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4883-2696

² аспірант кафедри екології та охорони навколишнього середовища
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)
e-mail: nicolaskutsenko@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9373-1405

яра → буркун білий → еспарцет піщаний → головатень круглоголовий → розторопиша плямиста → люпин вузьколистий.

Ключові слова: дерново-підзолистий ґрунт, нектаропилконосні рослини, фіторе mediaція, вегетативна маса, насіння, радіоактивні речовини.

PHYTOREMEDIATION OF SOD-PODZOLIC SOIL BY GROWING NECTAR-POLLEN-BEARING PLANTS IN THE CONDITIONS OF POLISSYA

S. F. Razanov, M. I. Kutsenko

The soil environment is characterized by the accumulation of various substances, including toxic ones such as radionuclides. During the exploitation of land resources, the amount of toxic substances is constantly changing due to their circulation. Some of the toxicants enter the soil naturally with rock and atmospheric precipitation, and some as a result of the technogenic activity of the population.

In the recent period, it has been noted that the majority of radioactive substances enter the soil, in particular its arable layer, as a result of the use of nuclear energy, especially during various accidents and chemicalization of the crop sector. Under such conditions, there is a need to control radioactive substances in soils and take measures to improve their environmental safety. One of the highly effective environmental measures to reduce the content of radioactive elements in soils is phytoremediation.

Our research has revealed that nectar-pollinated plants such as: melilotus albus, milk thistle, great globe thistle, sand sainfoin, narrow-leaved lupine, tansy and spring vetch have a certain tendency to accumulate ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th in their biomass, which can be effective in an integrated approach to restoring disturbed soils of agricultural lands that have been subjected to technogenic pollution.

As a result of the research, it was found that the effectiveness of phytoremediation of sod-podzolic soil depended on the botanical origin of the plants, yield and type of radioactive substances. The highest level of removal of radioactive substances from the soil with the yield of nectar-pollinated plants was observed at ^{40}K . The total mass of radioactive substances ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th , which is carried out with crops and pollen-bearing plants, is up to 7978374.2 Bq per 1 hectare.

In the increasing regression of the removal of radioactive substances from sod-podzolic soil with the harvest of nectar-pollen-bearing plants, the following sequence is observed: Phacelia tansy → spring vetch → melilotus albus → sand sainfoin → great globe thistle → milk thistle → narrow-leaved lupine.

Key words: sod-podzolic soil, nectar-pollinated plants, phytoremediation, vegetative mass, seeds, radioactive substances.

Вступ

Наслідки токсичного забруднення ґрунту надзвичайно численні та далекосяжні. Вони значно впливають на екосистему, зокрема на біорізноманіття уражених територій, знижуючи кількість і варіативність видів рослин. Окрім цього, забруднення сприяє процесам так званої деградації ландшафту, перетворюючи ґрунти на безплідну і непридатну для подальшого сільськогосподарського чи комерційного використання територію.

Аграрії, прагнучи підвищити врожайність, часто вдаються до застосування надмірних норм мінеральних добрив. Ці речовини, безумовно, стимулюють ріст рослин, але водночас сприяють забрудненню ґрунтів різними токсикантами.

Потрапляння токсичних речовин у ґрунт і подальше проникнення їх у підземні водонесні горизонти створює критичну небез-

пеку як для доступу до питної води, так і для забезпечення зрошувальних потреб сільського господарства.

Одним із головних наслідків забруднення територій є погіршення якості ґрунту, що призводить до втрати поживних речовин, критичної для його родючості. За таких умов ґрунт стає неспроможним підтримувати вирощування сільськогосподарських культур або забезпечувати середовище для дикої фауни, що в екстремальних випадках може ініціювати процес опустелювання. Водночас особливу загрозу становлять ризики для здоров'я людини: через забруднений харчовий ланцюг і водні ресурси населення може зазнавати серйозних негативних наслідків для організму. Серед найбільш поширених захворювань, викликаних вживанням заражених продуктів чи води, виділяють респіраторні порушення, вроджені аномалії та онкологічні хвороби.

Серед низки токсикантів ґрунтів сільськогосподарського призначення на деяких територіях, особливо у зоні техногенного навантаження аварії на Чорнобильській АЕС та інтенсивного землеробства, є радіонукліди, серед яких – Цезій-137 (^{137}Cs), Калій-40 (^{40}K), Радій-226 (^{226}Ra) та Торій-232 (^{232}Th) (Прістер і Лещенко, 1996).

Цезій-137 є одним із ключових джерел радіоактивного забруднення біосфери. Він присутній у радіоактивних осадах, відходах та викидах, пов'язаних із обробкою матеріалів атомних електростанцій. Цезій інтенсивно поглинається ґрунтом та донними відкладами, а у водних середовищах здебільшого перебуває у вигляді іонів. Цей радіонуклід також потрапляє в рослинність і біологічні організми, включно з людиною (Nabadwip et al., 2017; Velasco & Anjos, 2021).

В організм людини Цезій-137 проникає переважно через дихальну систему та травний тракт. Близько 80% цього елемента після потрапляння накопичується в м'язових тканинах, 8% – у кістках, а решта 12% рівномірно розподіляється між іншими тканинами (Разанов та ін., 2021).

Калій-40 є нестабільним ізотопом калію, який має атомний номер 19 та масове число 40. Період його напіврозпаду становить близько 1,25 мільярда років, а активність одного грама хімічно чистого ізотопу досягає $2,652 \times 10^5$ Бк.

Цей ізотоп є природною складовою частиною калію і має ізотопну поширеність 0,0117%.

Присутність Калію-40 в організмі людини є джерелом природної радіоактивності, яка досягає 4–5 кБк (вміст залежить від статі та віку, оскільки концентрація калію у тканинах може варіюватися). Середньорічна ефективна доза внутрішнього опромінення через розпад Калію-40 становить близько 180 мкЗв. Зовнішнє річне опромінення в районах зі звичайним радіаційним фоном оцінюється в середньому на рівні 120 мкЗв. Водночас сукупна середньосвітова річна доза від усіх джерел іонізуючого випромінювання сягає близько 2200 мкЗв (Nabadwip et al., 2017).

Торій-232 – природний радіоактивний ізотоп хімічного елемента торію з масовим числом 232 та майже стовідсотковою ізотопною поширеністю. Це найбільш довговічний ізотоп торію. Торій-232 є альфа-випромінювачем, його період напіврозпаду становить близько $1,4 \times 10^{10}$ років.

Процеси видобування торієвих руд, їх переробки з метою отримання металевого торію та подальшого застосування у промисловості супроводжуються професійними ризиками. Це зумовлено тим, що торій завжди виділяє продукти свого розпаду у різних пропорціях. Гранично допустима концентрація ^{232}Th у повітрі робочих приміщень становить 2×10^{-15} кюрі на літр. Хоча токсичність торію порівняно невелика, його потрапляння до організму може спричинити розвиток злоякісних новоутворень через значний проміжок часу (Bangotra et al., 2016).

Радій – радіоактивний елемент II групи періодичної системи елементів із порядковим номером 88. Найбільше значення має ізотоп ^{226}Ra з періодом напіврозпаду 1620 років, який є одним із продуктів розпаду урану. ^{226}Ra у розсіяному стані присутній у всіх об'єктах мертвої та живої природи, а його видобування здійснюється з урано-радієвих руд.

Радій-226 використовується для отримання радону, який входить до складу радонних ванн. У минулому радій широко застосовувався у кюрі-терапії для лікування пухлин шляхом опромінення. Проте потрапляння ^{226}Ra до організму людини становить серйозну небезпеку. У таких випадках необхідно реалізовувати спеціальні заходи для якнайшвидшого виведення цього радіоактивного ізотопу. Гранично допустима кількість ^{226}Ra в організмі людини не повинна перевищувати 0,1 мккюрі (Akozcan et al., 2018).

Ґрунти є джерелом накопичення як природних, так і штучних радіоізотопів, звідки ці токсиканти мігрують через рослинну продукцію в живі організми, спричиняючи низку порушень (Uosif et al., 2024), тому очищення ґрунтів, які зазнали радіоактивного забруднення, є одним із важливих заходів зниження опромінення населення. На даний час інтерес становить очищення ґрунтів від радіоізотопів за рахунок фітореMediaції.

Технології фітореMediaції базуються на природній здатності певних видів рослин поглинати, акумулювати та переробляти елементи й хімічні сполуки, які забруднюють навколишнє середовище. Завдяки цим властивостям рослини використовуються для вилучення, стабілізації, розкладання або випаровування забруднюючих речовин із ґрунту, води чи повітря (Burger & Lichtscheidl, 2018).

ФітореMediaція як метод екологічної дезактивації забруднюючих речовин вини-

кла у 1980-х роках ХХ століття і ґрунтується на застосуванні рослин, грибів і водоростей для очищення довкілля. Цей підхід забезпечує природний спосіб відновлення якості повітря, ґрунтів чи водойм, що виключає потребу у хімічних реагентах. На відміну від традиційних методів дезактивації, які часто передбачають використання хімічних речовин або переміщення забруднень до інших територій, фіторе mediaція є екологічно безпечнішою альтернативою.

Серед її основних переваг можна виокремити ефективність, безпечність для довкілля, економічну доступність, а також здатність до масштабування навіть на великих територіях. Цей метод особливо актуальний для вирішення проблем із забрудненням сільськогосподарських угідь. Окрім усунення наслідків деградації ґрунтів, він сприяє збереженню продовольчої безпеки.

Фіторе mediaція дозволяє ефективно очищувати ґрунт від вуглеводнів, бензолів, важких металів, радіонуклідів, фенолів, розчинників та інших забруднювачів. При цьому метод характеризується порівняно низькою вартістю та високою універсальністю у застосуванні.

Матеріал і методи

Для проведення дослідження використовували дерново-підзолисті ґрунти перелогів. Розмір площі ділянок – 25 м² кожна. Нектаропилконосні рослини вирощували без мінерального удобрення ґрунтів.

Відбір ґрунтів для радіологічних досліджень проводили методом конверту, який передбачає відбір зразків з кожного поля у п'яти різних місцях (по квадрату і по центру) на глибині переорювання ґрунту. Відбір зразків ґрунту із змішаної з п'яти точок партії робили методом точкових проб по 0,5 кг. Вміст радіонуклідів (¹³⁷Cs, ⁴⁰K, ²²⁶Ra та ²³²Th) проводили гамма-спектрометричним методом на пристрої гамма-спектрофотометр СЕГ-05 у сертифікованій лабораторії смт. Чабани Київської області у Державній установі «Держґрунтохорона».

Дослідження проводили в умовах території Коростенського району Житомирської області.

Відбір вегетативної маси нектаропилконосних рослин (буркун білий, розторопша плямиста, головатень круглоголовий, еспарцет піщаний, люпин вузьколистий, фацелія пижмолиста та вика яра) проводився по завершенню фази дозрівання насіння. Площа скошування становила 1 м² у декількох точках по кожній культурі. Після обмо-

лоту насіння з отриманої загальної партії відбирали зразки вегетативної маси та насіння методом точкових проб – по 5 кг.

Характеристика рослин-фіторе mediaнтів. Буркун білий належить до сімейства бобових та є медоносною культурою. Рослина поглинає велику кількість азоту з повітря, підвищуючи тим самим родючість ґрунту. Має добре розвинену розгалужену кореневу систему, яка здатна проникати в ґрунт на глибину до 4 м (Ткачук, 2017, 2021). Залишає в ґрунті 120 т/га сухої речовини коренів і стерні. Висота рослини сягає від 80 см до 2 м залежно від вологості ґрунту. В умовах посушливих регіонів буркун білий є більш низькорослим. Стебла рослини прямі, іноді можуть бути розлогими, зелені, знизу червонуваті, добре розгалужені.

Еспарцет піщаний є цінною медоносною рослиною. З посіву 1 га можна отримати 150 кг високоякісного меду. Стебла еспарцету сягають 60–120 см заввишки, мають ребристу форму. Листки складні з непарноперистими листочками (Петриченко і Лихочвор, 2020). Квітки рожевого кольору, суцвіття – китиця. Запилення рослини відбувається перехресно. Плід еспарцету представлений однонасінними бобами, які мають сітчасту поверхню. Насіння ниркоподібне, блискуче, зелено-жовте. Маса 1000 насінин еспарцету піщаного становить 14–16 г (Зінченко та ін., 2001).

Коренева система еспарцету добре розвинена, глибина залягання одного кореня в ґрунті може сягати понад 4 м у глибину (Разанов та ін., 2018).

Вика яра є однією з найпоширеніших однорічних бобових рослин. Росте в поліському, лісостеповому і степовому регіонах України.

Кормова цінність вики є досить високою і не поступається іншим багаторічним бобовим травам: на 100 кг сухої маси припадає 46 кормових одиниць. У кожній кормовій одиниці міститься 123 г перетравного протеїну.

За вищого рівня агротехніки урожайність зеленої маси вико-вівсяної суміші становить 200–300 т, сіна – 40–60 т/га (Петриченко і Лихочвор, 2020).

Вика має добре розвинену кореневу систему. Стебла рослини тонкі, повзучі, висотою більше 120 см. Листки парноперисті, на кінцях мають вусики. Квітки червонувато-фіолетові або червоні, сидять у пазухах листків.

У сучасному сільськогосподарському виробництві люпин відіграє важливу роль як кормова культура для худоби та як сидеральна культура, що використовується для збагачення ґрунту зеленим добривом. Розмежування між кормовими та сидеральними видами люпину зумовлене різною концентрацією гірких токсичних речовин – алкалоїдів – у рослинах.

Завдяки своїй добре розвиненій кореневій системі, яка здатна ефективно засвоювати важкорозчинні сполуки поживних елементів із ґрунту, а також через активну співпрацю з бульбочковими бактеріями, кормовий люпин демонструє високу продуктивність. Урожай зеленої маси може досягати 350 центнерів на гектар і більше з середнім вмістом азоту близько 0,6%. При заорюванні цієї зеленої маси в ґрунт як добрива ґрунт збагачується 180–200 кг/га біологічного азоту та отримує 35–40 т/га органічної речовини (Зінченко та ін., 2001; Петриченко і Лихочвор, 2020). Це робить люпин цінною культурою для підвищення родючості ґрунту і раціонального ведення землеробства.

Розторопша плямиста – це культура, яку висівають рано навесні. Оптимальний період посіву збігається зі строками сівби пізніх ярових культур, що забезпечує рівномірні сходи вже на 8–10-й день при середньодобовій температурі +10°C. Найкраще ця рослина росте на пухких, слабокислих (рН 5,5–6,0) супіщаних ґрунтах.

Сировину, тобто плоди, збирають у третій декаді серпня, коли насіння досягає стиглості. Цей момент визначають за висиханням і пожовтінням суцвіть (кошиків), які починають розпадатися. Оскільки насіння досягає поступово та легко висипається з кошиків, збір проходить у кілька етапів (Климчук та ін., 2011).

Фацелія належить до родини водолистникових і є однорічною рослиною. Її стебло пряме, соковите й крихке, має висоту від 60 до 90 см і утворює до двадцяти бокових пагонів. Суцвіття складається з 4–9 дзвоникоподібних квіток. Перші квіти розпускаються вже через місяць після висівання насіння в ґрунт, а цвітіння триває безперервно протягом двох місяців (Петриченко і Лихочвор, 2020).

Головатень круглоголовий належить до родини айстрових (складноцвітих) і є багаторічною трав'янистою рослиною заввишки до 2 метрів, яка має широкий ареал поширення. Порівняно з головатенем звичайним

цей вид дає значно більші врожаї, тому його ввели в лікарську культуру. Він є єдиним джерелом ехінопсину – отруйного алкалоїду хінолінового ряду ($C_{10}H_9NO$).

Результати і обговорення

Результати досліджень (табл. 1) показали, що сумарне винесення з дерново-підзолистого ґрунту радіоактивних речовин вегетативною масою розторопші плямистої становить 3 692 637 Бк з 1 га площі, з них: ^{137}Cs – 2,46%, ^{40}K – 91,4%, ^{226}Ra – 3,85% та ^{232}Th – 2,29%. За вирощування буркуну білого з вегетативною масою виносяться з ґрунту 1 909 208 Бк/га радіоактивних речовин, з них: ^{137}Cs – 1,99%, ^{40}K – 87,22%, ^{226}Ra – 5,37% та ^{232}Th – 5,42%. З вегетативною масою головатню круглоголового сумарне винесення радіоактивних речовин становить 3 213 472 Бк/кг, з них: ^{137}Cs – 3,53%, ^{40}K – 85,77%, ^{226}Ra – 5,35% та ^{232}Th – 5,33%. За вирощування люпину вузьколистого з вегетативною масою з ґрунту із розрахунку на 1 га виносяться 7 965 774 Бк/га радіоактивних речовин, з них: ^{137}Cs – 39,85%, ^{40}K – 50,3%, ^{226}Ra – 4,37% та ^{232}Th – 5,38%. Вирощування фацелії пижмолистої на дерново-опідзолених ґрунтах сприяло винесенню з вегетативною масою сумарної кількості радіоактивних речовин, яка становила 1 138 940 Бк/га, з них: ^{137}Cs – 21,0%, ^{40}K – 58,9%, ^{226}Ra – 5,45% та ^{232}Th – 14,6%. З вегетативною масою еспарцету піщаного з ґрунту виносяться 5 016 397 Бк/га, з них: ^{137}Cs – 9,65%, ^{40}K – 81,13%, ^{226}Ra – 2,49%. Вегетативна маса вики ярої виносить з 1 га площі 1 665 510 Бк, з них: ^{137}Cs – 49,47%, ^{40}K – 37,8%, ^{226}Ra – 1,14% та ^{232}Th – 1,26%.

За результатами досліджень (табл. 2) встановлено, що з насінням розторопші плямистої з дерново-підзолистого ґрунту виносяться 2020,1 Бк з 1 гектару радіоактивних речовин, з них з ^{137}Cs – 18,5%, ^{40}K – 92,12%, ^{226}Ra – 3,88% та ^{232}Th – 2,14%. З насінням буркуну білого з ґрунту виносяться 1444,1 Бк з 1 га, з них 1,85% – ^{137}Cs , 89,25% – ^{40}K , 4,71% – ^{226}Ra та 4,43% – ^{232}Th . За вирощування головатню круглоголового з 1 гектару площі виносяться з насінням 3184,9 Бк радіоактивних речовин, із яких 2,89% – ^{137}Cs , 89,39% – ^{40}K , 4,10% – ^{226}Ra та 3,61 – ^{232}Th . З насінням люпину вузьколистого з ґрунту виносяться 12592,2 Бк з 1 га радіоактивних речовин, із яких 36,87% – ^{137}Cs , 52,05% – ^{40}K , 4,37% – ^{226}Ra та 6,68% – ^{232}Th . Сумарне винесення радіоактивних речовин з насінням фацелії пижмолистої становить

Таблиця 1

Винесення з дерново-підзолистого ґрунту радіоактивних речовин з вегетативною масою нектаропилконосних рослин, Бк/кг (середнє за 2021–2023 р.)

Нектаро- пилконосні рослини	Урожайність вегетативної висушеної маси, ц/га	Вміст радіоактивних речовин у вегетативній масі (із розрахунку на суху речовину)				Винесення з ґрунту вегетативною масою рослин радіоактивних речовин			
		¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th
Розторопша плямиста	240,5	18,9	672	29,6	17,6	90909	3232320	142376	84656
Буркун білий	183,8	11,5	503	31,0	31,3	38065	1664930	102610	103603
Головатень круглоголовий	261,0	20,7	503	31,4	31,3	113436	2756440	172072	171524
Люпин вузьколистий	217,9	767,44	968,92	84,18	103,59	3177036	4011246	348588	428904
Фацелія пижмолиста	97,4	60,4	458,6	27,8	188,0	93620	710830	43090	291400
Еспарцет піщаний	137,9	91,36	767,9	23,66	63,57	239468	2011808	62094	166632
Вика яра	129,3	400,0	306,0	92,3	10,2	824000	630360	190138	21012

Таблиця 2

Винесення з дерново-підзолистого ґрунту радіоактивних речовин з насінням нектаропилконосних рослин, Бк (середнє за 2021–2023 р.)

Нектаро- пилконосні рослини	Урожай- ність насіння, ц/ га	Вміст радіоактивних речовин у насінні нектаропилконосних рослин (із розрахунку на суху речовину)				Винесення з ґрунту насінням радіоактивних речовин			
		¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th
Розторопша плямиста	3,7	10,1	503	21,2	11,7	37,4	1861	78,4	43,3
Буркун білий	3,2	7,2	403	21,3	20,0	23,0	1289	68,1	64,0
Головатень круглоголовий	6,5	14,2	438	20,1	17,7	92,3	2847	130,6	115,0
Люпин вузьколистий	10,8	430	607	51	78	4644	6555	550,8	842,4
Фацелія пижмолиста	2,3	37,8	304	19,2	107	86,9	699,2	44,1	246,1
Еспарцет піщаний	3,7	52	531,2	14,2	38,9	192,4	1965,4	52,5	143,9
Вика яра	8,3	272	209	70,3	6,4	2257	1734,7	581,8	53,1

1076,3 Бк/га, з яких 8,07% – ¹³⁷Cs, 64,96% – ⁴⁰K, 4,09% – ²²⁶Ra та 22,86% – ²³²Th. З насінням еспарцету піщаного виноситься 2354,2 Бк/га, з яких 8,17% – ¹³⁷Cs, 83,48% – ⁴⁰K, 2,23% – ²²⁶Ra та 6,11% – ²³²Th. При вирощуванні вики ярої з 1 га ґрунту виноситься з насінням 4626,6 Бк радіоактивних речовин, з яких 48,48% – ¹³⁷Cs, 37,49% – ⁴⁰K, 12,57% – ²²⁶Ra та 1,14% – ²³²Th.

Результати досліджень показали, що з вегетативною масою і насінням нектаропилконосних рослин виноситься з 1 гектару ґрунту з розторопшою плямистою 3552283,1 Бк радіоактивних речовин,

з яких ¹³⁷Cs – 2,56%, ⁴⁰K – 91%, ²²⁶Ra – 4,0% та ²³²Th – 2,88%; буркуном білим 1910652 Бк, з яких ¹³⁷Cs – 2,0%, ⁴⁰K – 87,2%, ²²⁶Ra – 5,37% та ²³²Th – 5,42%, головатнем круглоголовим 3216656,9 Бк, з яких ¹³⁷Cs – 3,52%, ⁴⁰K – 85,8%, ²²⁶Ra – 5,35% та ²³²Th – 5,33%; люпином вузьколистим 7978374,2 Бк, з яких ¹³⁷Cs – 39,8%, ⁴⁰K – 50,4%, ²²⁶Ra – 4,32% та ²³²Th – 5,38%; фацелією пижмолистою 1140016,3 Бк, з яких ¹³⁷Cs – 8,2%, ⁴⁰K – 62,4%, ²²⁶Ra – 3,7% та ²³²Th – 25,6%; еспарцетом піщаним 2420209,7 Бк, з яких ¹³⁷Cs – 9,9%, ⁴⁰K – 83,2%, ²²⁶Ra – 6,8% та ²³²Th – 6,9%; викою ярою 1670136,8 Бк,

з яких ^{137}Cs – 49,4%, ^{40}K – 37,8%, ^{226}Ra – 11,4% та ^{232}Th – 1,26%. Комплексне винесення радіоактивних речовин з ґрунту з вегетативною масою і насінням нектаропилконосних рослин коливалось від 1670136,8 Бк/га до 7978374,2 Бк/га. Найвищий рівень винесення з ґрунту з вегетативною масою та насінням нектаропилконосних рослин радіоактивних речовин спостерігався за вирощування люпину вузьколистого (рис. 1).

Вміст у дерново-підзолистому ґрунті після трирічного вирощування розторопші плямистої знизився по ^{137}Cs на 15,7%, ^{40}K на 14,2%, ^{226}Ra на 14,9% та ^{232}Th на 18%; буркуну білого по ^{137}Cs на 15,3%, ^{40}K на 14,2%, ^{226}Ra на 9,4% та ^{232}Th на 15,1%; головатню круглолового вміст ^{137}Cs знизився на 16,9%, ^{40}K на 11,3%, ^{226}Ra на 13,7% та ^{232}Th на 16,1%; люпину вузьколистого по ^{137}Cs на 20,5%, ^{40}K на 16,8%, ^{226}Ra на 17,3% та ^{232}Th на 21,0%; фацелії пижмолистої по ^{137}Cs на

13,3%, ^{40}K на 8,1%, ^{226}Ra на 9,0% та ^{232}Th на 11,7%; еспарцету піщаного по ^{137}Cs на 12,5%, ^{40}K на 9,6%, ^{226}Ra на 9,6% та ^{232}Th на 11,2%; вики ярої по ^{137}Cs на 13,8%, ^{40}K на 8,1%, ^{226}Ra на 10,1% та ^{232}Th на 10,2%.

Тобто результати досліджень показали, що вирощування нектаропилконосних культур на дерново-підзолистому ґрунті сприяло зниженню вмісту обмінних форм радіоактивних речовин внаслідок фітореMediaції порівняно з ґрунтом, який протягом досліджуваного періоду перебував під перелогом (табл. 3).

Висновки

За результатами досліджень встановлено інтенсивність винесення з дерново-підзолистого ґрунту ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra та ^{232}Th з урожаєм нектаропилконосних рослин (буркун білий, розторопша плямиста, головатень круглоловий, люпин вузьколистий, еспарцет піщаний, люпин вузьколистий, фацелія пижмолиста та вика

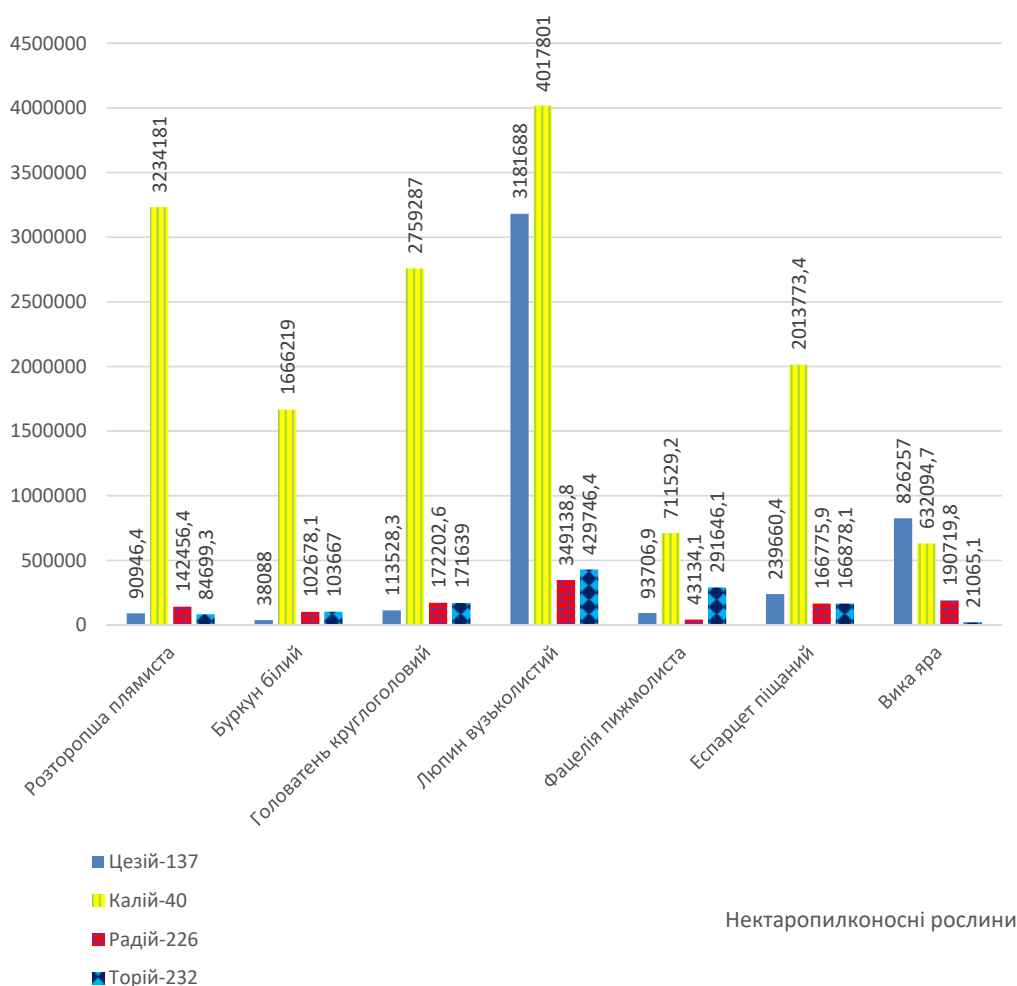


Рис. 1. Порівняльна оцінка винесення радіоактивних речовин нектаропилконосними рослинами з дерново-підзолистого ґрунту, Бк/га

Таблиця 3

Зміни вмісту радіоактивних речовин у дерново-підзолистому ґрунті за трирічного вирощування нектаропилконосних рослин, Бк/кг

Нектаропилконосні рослини	Ґрунти, не задіяні під вирощування нектаропилконосних рослин (переліг)				Ґрунти, задіяні під вирощування нектаропилконосних рослин			
	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th
Розторопша плямиста	248	257	16,7	20,5	209	392	14,2	16,8
Буркун білий	248	257	16,7	20,5	210	414	18,0	17,4
Головатень круглоголовий	248	257	16,7	20,5	206	415	14,4	17,2
Люпин вузьколистий	248	257	16,7	20,5	197	380	13,8	16,1
Фацелія пижмолиста	248	257	16,7	20,5	215	420	15,2	18,1
Еспарцет піщаний	248	257	16,7	20,5	217	413	15,1	18,2
Вика яра	248	257	16,7	20,5	217	420	15,0	18,4

яра) та ефективність очищення його від даних токсикантів.

Встановлено, що з урожаєм цих нектаропилконосних рослин з ґрунту виноситься даних радіонуклідів від 1670136,8 до 7978374 Бк/га.

Рівень винесення з урожаєм нектаропилконосних рослин радіоактивних речовин залежав від їх ботанічного походження. Виявлено, що з вегетативною та насінневою масою люпину вузьколистого спостерігалось вище винесення з ґрунту сумарної кількості (¹³⁷Cs, ⁴⁰K, ²²⁶Ra та ²³²Th) порівняно з розторопшею плямистою у 2,24 раза, буркуном

білим у 4,1 раза, головатнем круглоголовим у 2,4 раза, фацелією пижмолистою у 6,9 раза, еспарцетом піщаним у 3,3 раза та викою ярою у 4,7 раза.

Зниження концентрації радіоактивних речовин у ґрунті внаслідок фітореMediaції при вирощуванні нектаропилконосних рослин становило по ¹³⁷Cs від 12,5 до 20,5%, ⁴⁰K – від 8,1 до 16,8%, ²²⁶Ra – від 9,0% до 17,3% та ²³²Th – від 10,2% до 21,0%.

Перспективою подальших досліджень є вивчення ефективності використання одержаної вегетативної маси нектаропилконосних рослин для виробництва біопалива.

Список використаної літератури

- Зінченко О.І., Салатенко В.Н., Білоножко М.А. Рослинництво : підручник. Київ : Аграрна освіта, 2001. 591 с.
- Климчук О.В., Поліщук І.С., Мазур В.А. Лікарські рослини. Технологія вирощування. Вінниця : ВНАУ, 2011. 188 с.
- Петриченко В.Ф., Лихочвор В.В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур : підручник. 5-те вид. Львів : НВФ «Українські технології», 2020. 806 с.
- Прістер Б.С., Лещенко С.О. Рекомендації по веденню сільського господарства в умовах радіоактивного забруднення територій України в результаті аварії на ЧАЕС на період 1996–1998 років. Київ : Ярмарок, 1996. 56 с.
- Разанов С.Ф., Огороднічук Г.М., Коминар М.Ф. Вплив обробітку ґрунту на накопичення Цезію-137 в квітковому пилку та в продуктах переробки його медоносною бджолою. *Сільське господарство та лісівництво*. 2021. № 3 (22). С. 161–173. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-3-13>.
- Разанов С.Ф., Ткачук О.П., Гончарук І.І., Кравченко В.С. Зміна структури ґрунту при вирощуванні бобових багаторічних трав. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2018. № 92 (1). С. 206–214.
- Ткачук О.П. Вплив бобових багаторічних трав на агроєкологічний стан ґрунту. *Збалансоване природокористування*. 2017. № 1. С. 127–130.
- Akozcın S., Kulahcı F., Mercan Ye. A suggestion to radiological hazards characterization of ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K and ¹³⁷Cs: spatial distribution modelling. *Journal of Hazardous Materials*. 2018. Vol. 353. P. 476–489. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.04.042>.
- Bangotra P., Mehra R., Kaur K., Jakhu R. Study of natural radioactivity (²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K) in soil samples for the assessment of average effective dose and radiation hazards. *Radiation Protection Dosimetry*. 2016. Vol. 171. Issue 2. P. 277–281. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncw074>.
- Burger A., Lichtscheidl I. Stable and radioactive cesium: A review about distribution in the environment, uptake and translocation in plants, plant reactions and plants' potential

for bioremediation. *Science of The Total Environment*. 2018. Vol. 618. P. 1459–1485. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.298>.

Nabadwip S.S., Arunkumar S.B., Priya D.T. Study of natural radioactivity (^{226}Ra , ^{232}Th , and ^{40}K) in soil samples for the assessment of average effective dose and radiation hazard parameters. *Radiation Protection and Environment*. 2017. № 40 (3–4). P. 154–158. https://doi.org/10.4103/rpe.RPE_29_17.

Tkachuk O. Biological features of the distribution of root systems of perennial legume grasses in the context of climate change. *Scientific Horizons*. 2021. № 24 (2). P. 69–76. [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(2\).2021.69-76](https://doi.org/10.48077/scihor.24(2).2021.69-76).

Uosif M.A.M., Mostafa A.M.A., Ene A., Alrowaili Z.A., Elsaman R., Zakaly H.M.H. Natural radioactivity variation with some soil properties. *Romanian Reports in Physics*. 2024. Vol. 76. № 3. <https://doi.org/10.59277/RomRepPhys.2024.76.705>.

Velasco H., Anjos R.M. A review of ^{137}Cs and ^{40}K soil-to-plant transfer factors in tropical plants. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2021. Vol. 235–236. P. 106650. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106650>.

References

Zinchenko, O.I., Salatenko, V.N., & Bilonozhko, M.A. (2001). *Roslynnytstvo: pidruchnyk* [Crop production]. Kyiv: Ahrarna osvita [in Ukrainian].

Klymchuk, O.V., Polishchuk, I.S., & Mazur, V.A. (2011). *Likarski roslyny. Tekhnolohiia vyroshchuvannia* [Medicinal plants. Cultivation technology]. Vinnytsia : VNAU [in Ukrainian].

Petrychenko, V.F., & Lykhochvor, V.V. (2020). *Roslynnytstvo. Novi tekhnolohii vyroshchuvannia polovykh kultur* [New technologies for growing field crops]. 5nd ed. Lviv : NVF “Ukrainski tekhnolohii” [in Ukrainian].

Prister, B.S., & Leshchenko, S.O. (1996). *Rekomendatsii po vedenniu silskoho hospodarstva v umovakh radioaktyvnoho zabrudnennia terytorii Ukrainy v rezultati avarii na ChAES na period 1996-1998 rokiv* [Recommendations for conducting agriculture in the conditions of radioactive contamination of the territory of Ukraine as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant for the period 1996-1998]. Kyiv : Yarmarok [in Ukrainian].

Razanov, S.F., Ohorodnichuk, H.M., & Komynar, M.F. (2021). Vplyv obrobitku hruntu na nakopychennia tseziiu-137 v kvitkovomu pylku ta v produktakh pererobky yoho medonosnoi bdzholoiu [Annotation effect of soil treatment on cesium-137 accumulation in flower pollen and in its processing products by honey bees]. *Siliske hospodarstvo ta lisivnytstvo* [Agriculture and forestry], 3 (22), 161–173. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-3-13> [in Ukrainian].

Razanov, S.F., Tkachuk, O.P., Honcharuk, I.I., & Kravchenko, V.S. (2018). Zmina struktury hruntu pry vyroshchuvanni bobovykh bahatorichnykh trav [Changing the structure of the soil during the cultivation of legumes perennial grasses]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva* [Collected Works of Uman National University of Horticulture], 92 (1), 206–214 [in Ukrainian].

Tkachuk, O.P. (2017). Vplyv bobovykh bahatorichnykh trav na ahroekolohichni stan hruntu [Impact of leguminous perennial grasses on agroecological condition of the soil]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia* [Balanced nature using], 1, 127–130 [in Ukrainian].

Akozcan, S., Kulahci, F., & Mercan, Ye. (2018). A suggestion to radiological hazards characterization of ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs : spatial distribution modelling. *Journal of Hazardous Materials*, 353, 476–489. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.04.042> [in English].

Bangotra, P., Mehra, R., Kaur, K., & Jakhu, R. (2016). Study of natural radioactivity (^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K) in soil samples for the assessment of average effective dose and radiation hazards. *Radiation Protection Dosimetry*, 171 (2), 277–281. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncw074> [in English].

Burger, A., & Lichtscheidl, I. (2018). Stable and radioactive cesium: A review about distribution in the environment, uptake and translocation in plants, plant reactions and plants' potential for bioremediation. *Science of The Total Environment*, 618, 1459–1485. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.298> [in English].

Nabadwip, S.S., Arunkumar, S.B., & Priya, D.T. (2017). Study of natural radioactivity (^{226}Ra , ^{232}Th , and ^{40}K) in soil samples for the assessment of average effective dose and radiation hazard parameters. *Radiation Protection and Environment*, 40 (3–4), 154–158. https://doi.org/10.4103/rpe.RPE_29_17 [in English].

Tkachuk, O. (2021). Biological features of the distribution of root systems of perennial legume grasses in the context of climate change. *Scientific Horizons*, 24 (2), 69–76. [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(2\).2021.69-76](https://doi.org/10.48077/scihor.24(2).2021.69-76) [in English].

Uosif, M.A.M., Mostafa, A.M.A., Ene, A., Alrowaili, Z.A., Elsaman, R., & Zakaly, H.M.H. (2024). Natural radioactivity variation with some soil properties. *Romanian Reports in Physics*, 76, 3. <https://doi.org/10.59277/RomRepPhys.2024.76.705> [in English].

Velasco, H., & Anjos, R.M. (2021). A review of ^{137}Cs and ^{40}K soil-to-plant transfer factors in tropical plants. *Journal of Environmental Radioactivity*, 235–236, 106650. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106650> [in English].

Отримано: 20.01.2025
Прийнято: 05.02.2025



УДК 504.5:631.43:631.543

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.24>

ФІТОРЕМЕДІАЦІЯ ҐРУНТІВ ШЛЯХОМ ВИРОЩУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

А. Д. Романчук¹, Н. Г. Матвійчук², Б. В. Матвійчук³

Відновлення родючості ґрунтів та захист їх від забруднення є складною науковою проблемою сьогодення, що потребує застосування різноманітних фізичних, хімічних і біологічних засобів.

Важливим теоретичним і прикладним аспектом є розробка нових методів відновлення для зменшення деградації ґрунтів під впливом хімічного забруднення. У публікації проаналізовано екологічні характеристики енергетичних культур *Miscanthus giganteus* L. та *Phalaris arundinacea* L. як фіторемедіаторів ґрунтів, забруднених важкими металами, пестицидами та нафтопродуктами. Дослідження показало, що вирощування енергетичних культур на техногенно забруднених ґрунтах призводить до неоднорідних змін агрохімічного та фізико-хімічного складу ґрунту.

Реакція ґрунтового розчину, вміст вуглецю та гумусу мало змінилися за 2021–2023 роки. При вирощуванні *Phalaris arundinacea* L. на забруднених нафтопродуктами та пестицидами землях вміст ввібраних основ, легкогідролізованого азоту та рухомого фосфору суттєво збільшився, тоді як вміст обмінного калію, кальцію та рухомої сірки зменшився. І навпаки, вирощування *Miscanthus giganteus* L. призвело до зменшення вмісту макроелементів і збільшення вмісту обмінного кальцію та рухомої сірки. Вирощування енергетичних культур призвело до значного зниження вмісту токсичних речовин у забрудненому ґрунті, зокрема вмісту рухомих форм та масової частки важких металів. Найбільше зниження спостерігалось для рухомого хрому, який зменшився на 0,55 мг/кг за вирощування очеретянки звичайної та 1,06 мг/кг за вирощування міскантусу гігантського на ділянках, забруднених нафтопродуктами, та на 3,65 мг/кг і 5,25 мг/кг на ділянках, забруднених пестицидами, відповідно. Загальний вміст стибію зменшився на 60 мг/кг за вирощування очеретянки звичайної та 69,61 мг/кг за вирощування міскан-

¹ доктор сільськогосподарських наук, професор,
директор науково-дослідного інституту проблем сталого розвитку,
(Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир)
e-mail: ludmilaromanchuk14@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4790-8414

² кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: natamatviychuk400@ukr.net
ORCID: 0000-0003-2226-814X

³ кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: bogdanmatviychuk@ukr.net
ORCID: 0000-0003-2226-814X

тусу гігантського на ділянках, забруднених нафтопродуктами, і на 65,68 мг/кг та 78,35 мг/кг відповідно на ділянках, забруднених пестицидами. На досліджених площах вирощування енергетичних культур концентрація кадмію знизилася на 0,131–0,193 мг/кг при вирощуванні очеретянки звичайної та на 0,187–0,312 мг/кг при вирощуванні міскантусу гігантського. Також значно зменшився вміст органічних забруднювачів. На ділянках, забруднених нафтопродуктами, ГХГ (сума ізомерів) знизилась на 0,099 мг/кг при культивуванні очеретянки звичайної та на 0,121 мг/кг при культивуванні міскантусу гігантського, на забруднених пестицидами – відповідно на 0,12 і 0,143 мг/кг. При вирощуванні очеретянки звичайної вміст нафтопродуктів знизився на 565,52 мг/кг на ділянках, забруднених нафтопродуктами, та на 1364,14 мг/кг – забруднених пестицидами, а при вирощуванні міскантусу гігантського – на 564,15–1160,08 мг/кг. Вміст фенолу було виявлено лише на забруднених пестицидами територіях і зменшено вдвічі завдяки вирощуванню енергетичних культур. Отже, вважаємо доцільним вирощування енергетичних культур *Miscanthus x giganteus* та *Phalaris arundinacea*, оскільки вони є перспективними фітотехнологіями для підвищення агрономічної цінності ґрунту.

Ключові слова: фітореMediaція, *Miscanthus x giganteus*, *Phalaris arundinacea*, важкі метали, токсиканти, органічні забруднювачі, нафтопродукти.

PHYTOREMEDIATION OF SOILS BY CULTIVATION ENERGY CROPS

L. D. Romantschuk, N. G. Matviichuk, B. V. Matviichuk

Restoring soil fertility and protecting it from pollution is a complex scientific problem today, which requires the use of various physical, chemical and biological means. An important theoretical and applied aspect is the development of new remediation methods to reduce soil degradation under the influence of chemical pollution. The publication analyzes the ecological characteristics of energy crops *Miscanthus giganteus* L. and *Phalaris arundinacea* L. as phytoremediators of soils contaminated with heavy metals, pesticides, and petroleum products. The study showed that the cultivation of energy crops on technogenically polluted soils leads to heterogeneous changes in the agrochemical and physicochemical composition of the soil. The reaction of the soil solution, the content of carbon and humus has changed little in 2021–2023. When growing *Phalaris arundinacea* L. on soils contaminated with petroleum products and pesticides, the content of absorbed bases, easily hydrolyzed nitrogen and mobile phosphorus increased significantly, while the content of exchangeable potassium, calcium and mobile sulfur decreased. Conversely, the cultivation of *Miscanthus giganteus* L. led to a decrease in the content of macroelements and an increase in the content of exchangeable calcium and mobile sulfur. Cultivation of energy crops led to a significant decrease in the content of toxic substances in contaminated soil, in particular, the content of mobile forms and the mass fraction of heavy metals. The greatest reduction was observed for mobile chromium, which was reduced by 0,55 mg/kg for common warbler and 1,06 mg/kg for miscanthus giant in oil-contaminated sites, and by 3,65 mg/kg and 5,25 mg/kg in areas contaminated with pesticides, respectively. The total content of stibium decreased by 60 mg/kg in the cultivation of common reed and 69,61 mg/kg in the cultivation of miscanthus giant in the oil-contaminated plots, and by 65,68 mg/kg and 78,35 mg/kg, respectively, in the contaminated plots pesticides. On the investigated areas of growing energy crops, the concentration of cadmium decreased by 0,131–0,193 mg/kg when growing common reed and by 0,187–0,312 mg/kg when growing miscanthus giant. The content of organic pollutants also decreased significantly. The content of organic pollutants also decreased significantly. On the areas contaminated with petroleum products, HCG (sum of isomers) decreased by 0,099 mg/kg during the cultivation of common reed and by 0,121 mg/kg during the cultivation of *Miscanthus giganteus*, on those contaminated with pesticides by 0,12 and 0,143 mg/kg, respectively. When growing common reed, the content of oil products decreased by 565,52 mg/kg in areas contaminated with oil products and by 1364,14 mg/kg in areas contaminated with pesticides, and when growing giant miscanthus – by 564,15–1160,08 mg/kg. Phenol content was found only in pesticide-contaminated areas and was reduced by half due to the cultivation of energy crops. Therefore, we consider it expedient to grow the energy crops *Miscanthus x giganteus* and *Phalaris arundinacea*, as they are promising phytotechnologies for increasing the agronomic value of the soil.

Key words: phytoremediation, *Miscanthus x giganteus*, *Phalaris arundinacea*, heavy metals, toxicants, organic pollutants, petroleum products.

Вступ

Техногенне забруднення довкілля має глобальний характер. Господарська діяльність людини призвела до деградації земель, їх забруднення нафтопродуктами, пестицидами, радіонуклідами та важкими металами, які належать до найшкідливіших хімічних забруднювачів для навколишнього середовища. Вони мігрують трофічними ланцюгами з вираженим кумулятивним ефектом, у зв'язку з чим токсичність їх може проявлятися раптово на окремих ланках трофічних ланцюгів. До земель несільськогосподарського призначення належать забруднені ґрунти поблизу гірничодобувних і металургійних виробництв, кар'єри, полігони твердих побутових відходів та інші маргінальні території, особливістю яких є перевищення ГДК неорганічних (важкі метали, зокрема Pb, Cr, Al, Zn, Ni та ін.) та органічних (поліциклічні ароматичні вуглеводні, пірен, фенатрен, поліфенольні сполуки та ін.) сполук (Самохвалова, 2014; Moubasher et al., 2015; Пацула та ін., 2018).

Актуальним та важливим як у теоретичному, так і в практичному аспекті є розроблення нових способів ремедіації забруднених ґрунтів. Фіторемердіація є одним із найефективніших методів дезактивації забруднюючих речовин у ґрунті за допомогою рослин. Вона не вимагає екскавації ґрунту, сприяє збереженню та відновленню навколишнього середовища, поліпшенню якості ґрунтів, захисту їх від ерозії і може застосовуватися на великих площах (Meers et al., 2010; Basumatary et al., 2012; de Abreu et al., 2012; Ласло, 2014; Самохвалова, 2014; Pandey et al., 2015). Фіторемердіація ґрунтів шляхом вирощування енергетичних культур є одним з основних способів вирішення проблем для зниження площ забруднених земель та покращання стану біоенергетики (Witters et al., 2012; Кулик та ін., 2020; Борецька та ін., 2021).

Світовою науковою спільнотою підраховано, що вартість очищення ґрунту, забрудненого важкими металами, радіонуклідами, нафтою чи пестицидами, за допомогою рослин, що використовують лише енергію сонця, становить лише 5% від витрат на інші способи відновлення. Отже, фіторемердіація є більш екологічно доцільним і дешевим методом відновлення ґрунтів порівняно з фізико-хімічними і технічними способами навіть з урахуванням обмеженості часових ресурсів для досягнення кінцевої мети. Традиційно фіторемердіація та фіторекуль-

тивація земель здійснюється з метою підвищення продуктивності і стійкості землеробства, забезпечення гарантованого виробництва продукції на основі збереження і підвищення родючості земель. Вона також застосовується при створенні необхідних умов для залучення до агровиробництва малопродуктивних земель та формування раціональної структури земельних угідь (Цицюра та ін., 2022).

Фіторемердіація охоплює широкий спектр забрудників, таких як неорганічні хімічні речовини, включаючи важкі метали, металоїди, багато органічних речовин, зокрема стійкі органічні забруднювачі та радіоактивні елементи. Фіторемердіація набула великої популярності за останні 20 років і вважається прийнятною технологією в багатьох країнах через її економічну ефективність порівняно з традиційними методами. Низка компаній займається фіторемердіацією різних забруднених об'єктів, а по всьому світу успішно завершено кілька проєктів з фіторемердіації. Використання неїстівних багаторічних енергетичних культур для рекультивації забруднених земель розглядається як стійкий підхід фіторемердіації з економічною віддачею (Del Grosso et al., 2014; Pandey et al., 2016).

В Україні налічується близько 3,5 млн га земель, виведених із сівозмін через їх низьку родючість, схильність до ерозії, забрудненість важкими металами, радіонуклідами та токсикантами (Блюм та ін., 2010). Вирощування швидкозростаючих високоврожайних енергетичних культур на даних землях збереже ґрунти від ерозії, збільшить потужність гумусного шару і загалом покращить екологічний та енергетичний стан країни. На думку вчених, найбільш енергетично ефективними є три види енергетичних культур, а саме: швидкозростаюча верба прутівидна (*Salix viminalis*), міскантус гігантус (*Miscanthus x giganteus*), сорго (*Sorghum*). Для їх вирощування в Україні створюються високопродуктивні плантації з тривалим терміном експлуатації. Культури характеризуються високим показником приросту фітомаси. Насадження енергетичних культур залишаються продуктивними 20–30 років, а врожайність становить 30–50 т/га сухої маси на рік. Позитивною особливістю енергетичних культур є стійкість до морозів, шкідників і збудників хвороб. Вони можуть зростати на ґрунтах різного типу, на заболочених і непродуктивних землях, забруднених важкими

металами та радіонуклідами. Крім того, ці культури здатні адсорбувати з ґрунту у великій кількості важкі метали та радіонукліди, що сприяє очищенню забруднених ґрунтів та покращанню їх екологічного стану. Найбільший досвід у вирощуванні енергетичних культур мають такі країни, як Швеція, Англія, Ірландія, Польща, Данія. В Україні, незважаючи на велику кількість малоприсадибних для ведення товарного сільськогосподарського виробництва земель, промислових посадок енергетичних культур поки що недостатньо (Блюм та ін., 2010; Рахметов, 2011; Гелетука і Желєзна, 2014; Федорчук та ін., 2017).

Енергетичні рослини впливають на екологічний стан і довкілля таким чином: один гектар плантацій енергетичних рослин поглинає з повітря понад 200 тон CO_2 за 3 роки; ідеально підходять для засадження радіоактивно забруднених та порушених земель після видобування ельмінітових руд, малопродуктивних чи виведених з обробітку; ефективно застосовуються у протиерозійних заходах для укріплення ґрунтів, збагачують їх макроелементами та мікроелементами, поживними речовинами; енергетичні рослини є природними фільтрами для очищення ґрунтів від пестицидів; плантації енергетичних рослин є природними фільтрами для видалення відходів агропромислового виробництва, застосовуються як буферні зони в місцях накопичення біологічних відходів фермерських господарств (Гелетука і Желєзна, 2014).

Ступінь деградації ґрунтів великий, а процес ремедіації – складний, витратний і повільний. Ґрунтознавці стверджують, що для відновлення продуктивності виснаженого і пошкодженого ґрунту необхідні значні інвестиції. Рекультивацію забруднених земель необхідно розпочинати з розроблення способів їх використання в агропромисловому виробництві, що дало би змогу швидко відновлювати такі землі та отримувати з них безпечну продукцію (Грабак і Будикіна, 2014).

У Європейських країнах починаючи з 2013 року наявна єдина сільськогосподарська політика ЄС, яка зобов'язує фермерів, які володіють понад 15 га орних земель, виділяти не менше 5% відповідних площ для екологічних та енергетичних потреб. До земель такого призначення належать, наприклад, чисті пари, буферні смуги, ландшафтні елементи, лісонасадження тощо. На цих екологічно спрямованих землях фер-

мери зобов'язані вирощувати багаторічні енергетичні культури без застосування пестицидів і мінеральних добрив. Після підготовки Єврокомісією звіту з даного питання у 2017 році частка земель, призначених для екологічних та енергетичних потреб, повинна зрости до 7% (Федорчук та ін., 2017).

Наразі в Україні є кілька компаній, що займаються вирощуванням енергетичних культур на комерційному рівні. Ще низка компаній планує найближчим часом вийти на цей ринок. Підвищення цін на енергоносії негативно впливає на економіку України, екологію, добробут громадян. Саме це і є передумовою того, що Україна змушена шукати альтернативні джерела енергії. Для цього планується збільшення площ для вирощування енергетичних культур. Площі під вирощування енергокультур необхідно збільшувати з 130 тис. га в 2020 р. до 700 тис. га в 2030 р. і в перспективі довести до 3,5 млн га (Гелетука і Желєзна, 2014).

Так, важкі метали й хімічні забруднювачі середовища, накопичуючись і просувуючись по харчовому ланцюгу (ґрунт – рослина – тварина – людина), уражають різні органи тварин і людини, викликаючи захворювання.

З огляду на це систематичне сільськогосподарське використання земельного фонду потребує наявного контролю за станом його родючості, ступенем еродованості, реакцією та сольовим режимом ґрунтового середовища, а також рівнем забруднення важкими металами, радіонуклідами, нафтопродуктами, пестицидами. У зв'язку з цим ведення землеробства на забруднених ґрунтах є одним з актуальних питань для агрономів та екологів. Забруднені токсикантами ґрунти потребують спеціальних засобів детоксикації ґрунту, що могли б не допустити надходження їх у рослинницьку продукцію.

Отже, дослідження реабілітації ґрунту, забрудненого органічними пестицидами та нафтопродуктами, за вирощування рослин *Miscanthus x giganteus* та *Phalaris arundinacea* є досить актуальним.

Матеріал і методи

Дослідження проводилося протягом 2021–2023 років у рамках проєкту CERESiS (ContaminatEd Land Remediation through Energy crops for Soil поліпшення до рідкого біопалива) H2020 Project (GA 101006717) в досліді, який був закладений у 2021 році у стаціонарному досліді в зоні Полісся

України. Для вивчення питання очищення забруднених ґрунтів від важких металів, залишків пестицидів, нафтопродуктів було закладено дослідні ділянки енергетичних рослин *Miscanthus x giganteus* та *Phalaris arundinacea* на забруднених нафтопродуктами (ділянка № 1) та органічними пестицидами (ділянка № 2) ґрунтах.

Ґрунт дослідних ділянок ясно-сірий опідзолений глеюватий. Глибина залягання ґрунтових вод становить орієнтовно 2,5 м, верхня межа капілярної кайми – 152 см. Дослід закладено у 3-кратній повторності, розміщення повторень в один ярус. Загальна площа ділянки – 540 м², площа посівної ділянки – 135 м², облікової – 100 м². Згідно зі схемою дослідження вносили рекомендовані норми фосфорно-калійних добрив – суперфосфат Р₂О₅ – 18,4% та каліймагnezію (K₂O – 40,2%), азотних добрив – аміачну селітру (N – 34,4%).

Перед закладанням дослідів та впродовж років досліджень було проведено відбір зразків ґрунту з забруднених ділянок – ділянка № 1 забруднена нафтопродуктами та ділянка, № 2 забруднена пестицидами – згідно з ДСТУ 4287:2004, ДСТУ ISO 10381:2004. Стандартний відбір зразків включав створення одного зразку з мінімум 25 субзразків, взятих ґрунтовим буром на глибину кореневої системи рослин (0,1–0,9 м) з стандартизованою підготовкою ґрунтової проби (фракція < 2 мм, висушена на повітрі). Було проведено дослідження

відібраних зразків згідно з чинними ДСТУ та методиками за встановленими показниками: вміст вуглецю; органічної речовини; N; P; K; Ca; S; сума ввібраних основ; органічні забруднювачі; феноли; валові форми важких металів; рухомі форми важких металів; загальні форми поживних елементів; нафтопродукти.

Результати та обговорення

Ґрунт – унікальний незамінний природний ресурс, накопичувач сонячної енергії, основа життя рослин, тварин і людини, а також природний індикатор забруднення навколишнього середовища.

Перед закладанням дослідів у 2021 році на дослідних ділянках проведено фізико-хімічний та агрохімічний аналіз ґрунту. Ґрунт дослідних ділянок характеризувався нейтральною реакцією середовища, високим показником суми ввібраних основ, дуже низьким вмістом гумусу та фосфору, дуже високим – обмінного калію легкогідролізованого азоту, зразок № 1 (ділянка, забруднена нафтопродуктами) – дуже високим та зразок № 2 (ділянка, забруднена пестицидами) – високим вмістом рухомої сірки, підвищеним – обмінного кальцію.

За результатами досліджень встановлено, що такі показники, як реакція ґрунтового розчину, вміст вуглецю та гумусу, протягом 2021–2023 років майже не змінилися за вирощування енергетичних культур на забруднених ділянках (рис. 1). Однак при вирощуванні очеретянки звичайної значно

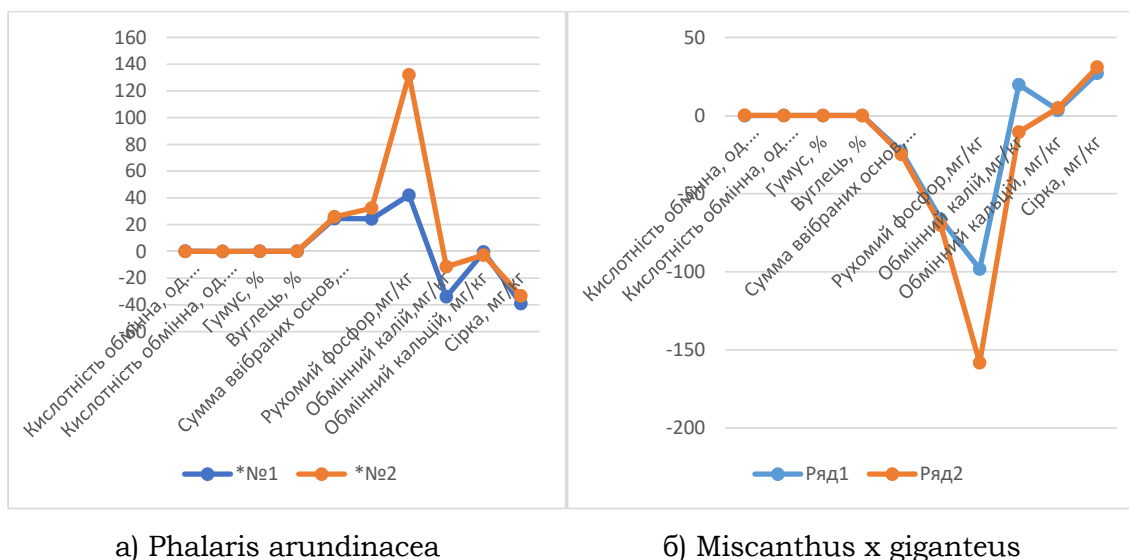


Рис. 1. Зміна агрохімічних та фізико-хімічних показників ґрунту за вирощування енергетичних культур, 2021–2023 рр.

Примітка: № 1 – ділянка, забруднена нафтопродуктами; № 2 – ділянка, забруднена пестицидами.

Джерело: розроблено авторами.

збільшилася сума ввібраних основ – на 24,5–25,8 ммоль/100 г, вміст легкогідролізованого азоту – на 24,3–32,3 мг/кг, рухомого фосфору – на 42–132 мг/кг ґрунту. Показники обмінного калію, кальцію та рухомої сірки дещо зменшилися за рахунок виносу з ґрунту рослинами та недостатнім внесенням з мінеральними добривами (рис. 1а).

При вирощуванні *Miscanthus x giganteus* за рахунок великої вегетативної маси винос макроелементів був значно більшим, ніж внесення їх з мінеральними добривами: сума ввібраних основ знизилася на 22,9–24,8 ммоль/100 г, вміст легкогідролізованого азоту – на 66,3–70,1 мг/кг, рухомого фосфору – на 98,3–158,3 мг/кг, обмінного калію – на 10,6 мг/кг ґрунту. Вміст таких макроелементів, як обмінний кальцій, збільшився на 3,4–4,8 мг/кг, рухома сірка – на 27,1–31,0 мг/кг ґрунту (Romantschuk et al., 2024).

Як відзначають інші дослідники, вирощування міскантусу позитивно впливає і на родючість ґрунту, оскільки впродовж чотирьох років вирощування у ґрунті накопичується майже 20 т/га кореневищ, що еквівалентно 7–10 т/га органічних добрив і значно покращує родючість ґрунту (Блюм та ін., 2010; Гелетуха і Желєзна, 2014; Федорчук та ін., 2017).

У світі існує кілька органічних і неорганічних забрудників, але забруднення ґрунту важкими металами викликає велике занепокоєння. У Європейському Союзі забруднення ґрунтів важкими металами становить понад 37% випадків, за ними йдуть 33,7% випадків мінеральних масел, 13,3% випадків поліциклічних ароматичних вуглеводнів та інші (Vis & Berg, 2010; Del Grosso et al., 2014; Pandey et al., 2016; Кулик та ін., 2020).

Забруднення ґрунтів важкими металами становить глобальний інтерес з боку сучасної науки у зв'язку з підвищенням техногенного впливу на навколишнє природне середовище. небезпека від важких металів визначається тим, що на відміну від органічних забруднювачів вони не руйнуються, а переходять з однієї форми в іншу, зокрема, включаються у склад солей, оксидів, металлоорганічних сполук. За прогнозами, у перспективі важкі метали можуть стати більш небезпечними, ніж відходи атомних електростанцій, і поділити перше місце з пестицидами. За останні роки забруднення ними навколишнього середовища збільшилося у 2,5–3 рази, а у біохімічні цикли щорічно

надходить 3×10^5 тонн свинцю, 2×10^3 тонн кадмію (Kovalyova & Mozharivska, 2020).

Відзначимо, що період напіврозпаду та напівочищення ґрунту від пестицидів, нафтопродуктів та важких металів становить десятки років, тому на даний час першочерговим завданням багатьох вчених, безумовно, є пошук засобів та заходів для фітореабілітації ґрунтів (Скачок та ін., 2019).

У наших дослідженнях на ділянках перед закладанням досліду було відмічено перевищення ГДК рухомих форм вмісту хрому: на ділянці, забрудненій нафтопродуктами, – на 0,8 мг/кг, на ділянці, забрудненій пестицидами, – на 6,55 мг/кг. Вміст і інших сполук важких металів був також досить високим.

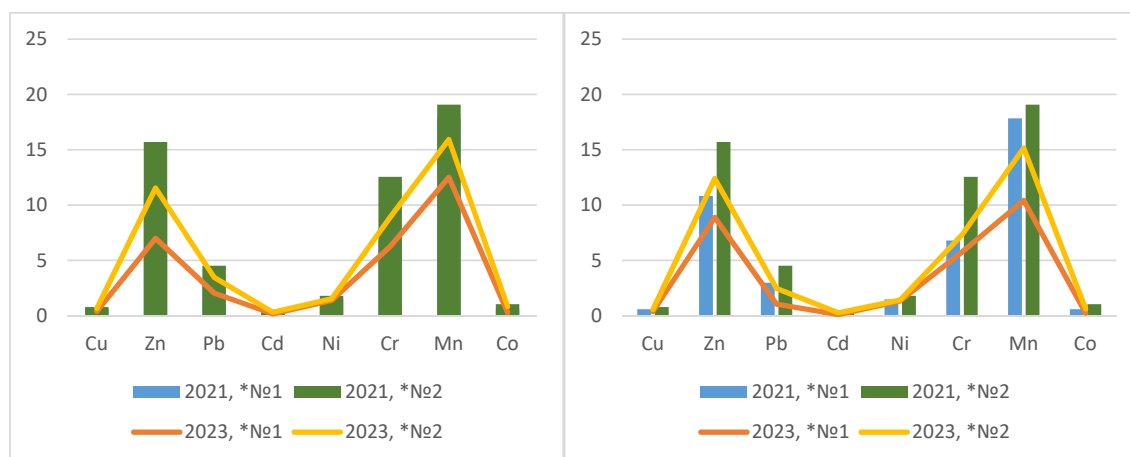
Встановлено, що валовий вміст стибію був досить високим і значно перевищував ГДК: на ділянці, забрудненій нафтопродуктами, він становив 172,11 мг/кг, на ділянці, забрудненій пестицидами, – 161,15 мг/кг. Також визначено невелике перевищення допустимого рівня кадмію на ділянці, забрудненій органічними пестицидами, на 0,39 мг/кг.

За результатами досліджень встановлено, що вміст токсикантів у ґрунті внаслідок вирощування енергетичних культур значно знижувався.

Зокрема, значно знижувався вміст рухомих форм важких металів за вирощування очеретянки звичайної: міді на 0,192 мг/кг на 1 ділянці (забруднення нафтопродуктами) та на 0,134 мг/кг на 2 ділянці (забруднення пестицидами); цинку на 3,83 та 4,17 мг/кг; свинцю на 0,94 та 1,05 мг/кг; кадмію на 0,041 та 0,057 мг/кг; нікелю на 0,092 та 0,274 мг/кг; хрому на 0,55; 3,65 мг/кг; марганцю на 5,33 та 3,15 мг/кг; кобальту на 0,301 та 0,201 мг/кг відповідно (рис. 2а).

За нашими дослідженнями встановлено, що порівняно з очеретянкою звичайною міскантус гігантський завдяки більшій біомасі виносив з ґрунту значно більше важких металів, крім цинку. Вміст міді – на 0,208 мг/кг на 1 ділянці (забруднена нафтопродуктами) та 2 ділянці (забруднена пестицидами); цинку – на 1,94 та 3,31 мг/кг; свинцю – на 1,94 та 2,06 мг/кг; кадмію – на 0,097 та 0,108 мг/кг; нікелю – на 0,152 та 0,382 мг/кг; хрому – на 1,06 та 5,25 мг/кг; марганцю – на 7,43; 3,92 мг/кг; кобальту – на 0,338 та 0,408 мг/кг відповідно (рис. 2б).

Також значно знижувався валовий вміст важких металів при вирощуванні енерге-



а) *Phalaris arundinacea*

б) *Miscanthus x giganteus*

Рис. 2. Зміна вмісту рухомих сполук хімічних елементів протягом 2021–2023 рр. за вирощування енергетичних культур, мг/кг

Примітка: № 1 – ділянка, забруднена нафтопродуктами; № 2 – ділянка, забруднена пестицидами.

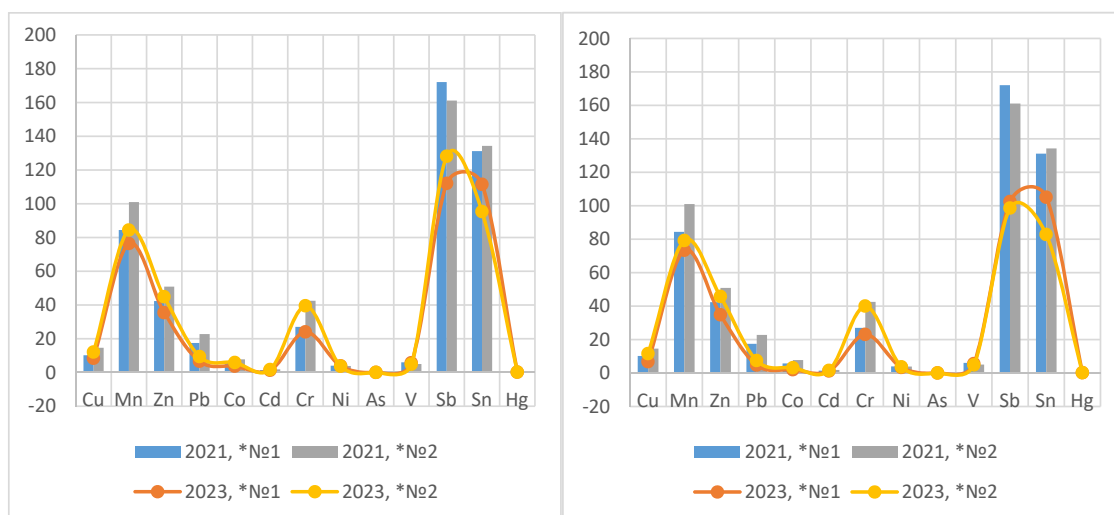
Джерело: розроблено авторами.

тичних культур на забруднених ґрунтах (Romanchuk et al., 2025).

Концентрація міді на досліджуваних ділянках, де вирощували енергетичні рослини, знижувалася: за вирощування очеретянки звичайної на 17%, за вирощування міскантусу гігантського на 33–20%; марганцю – на 10–16% та 13–32%; цинку – на 16–12% та 18–10%; свинцю – 62–59% та 73–67%; кобальту – 35–24% та 65–59%; кадмію – на 9–10% та 13–17%; хрому – на

11–7% та 15–6%; нікелю – на 3% та 17–4%; арсену – на 20–16% та 10–12%; ванадію – на 5–2% та 7–4%; стибію – 35–20% та 40–39%; стануму – 15–29% та 20–38%; ртуті – на 38–49% та 47–54% відповідно (рис. 3а, б).

Інші вчені підтверджують зменшення вмісту важких металів у ґрунтах при вирощуванні енергетичних культур, а саме рухомих сполук свинцю, кадмію, міді та цинку (Kovalyova & Mozharivska, 2020).



а) *Phalaris arundinacea*

б) *Miscanthus x giganteus*

Рис. 3. Зміна вмісту масової частки хімічних елементів протягом 2021–2023 рр. за вирощування енергетичних культур, мг/кг

Примітка: № 1 – ділянка, забруднена нафтопродуктами; № 2 – ділянка, забруднена пестицидами.

Джерело: розроблено авторами.

Поряд зі здатністю енергетичних рослин до фітореMediaції забруднених важкими металами ґрунтів встановлено, що вони мають потенціал до розкладання органічних забруднювачів, зокрема поліциклічних ароматичних вуглеводнів. Доведено, що кореневі екsudати культур мають деструкційну здатність, адже вони розкладають пірен і фенатрен (Wanat et al., 2013; Gawronski et al., 2017). Виявлено, що поліфенольні сполуки, флавоноїди, присутні в ризосфері, наприклад *M. Giganteus*, стимулюють зростання мікроорганізмів, які утилізують поліциклічні ароматичні вуглеводні (Wanat et al., 2013; Barbosa et al., 2015).

При визначенні органічних забруднювачів у ґрунті ДДТ та його метаболіти не були виявлені на дослідних ділянках.

Гептахлор був виявлений на ділянці, забрудненій пестицидами, а завдяки вирощуванню енергетичних культур його вміст у ґрунті впродовж 2021–2023 рр. знизився після *Phalaris arundinacea* на 0,001 мг/кг, після *Miscanthus x giganteus* – на 0,002 мг/кг.

ГХЦГ (сума ізомерів) на 1 ділянці, забрудненій нафтопродуктами, становила 0,245 мг/кг, на 2 ділянці, забрудненій пестицидами, – 0,28 мг/кг, що перевищувало ГДК понад удвічі. На 1 ділянці вміст їх зменшився на 0,099 мг/кг при вирощуванні очеретянки та на 0,121 мг/кг при вирощуванні міскантусу, на 2 ділянці відповідно – на 0,12 та 0,143 мг/кг.

Вміст в ґрунті 2,4-Д-аміної солі не змінювався під час вирощування енергетичних культур і знаходився на рівні 2021 року 0,05 мг/кг.

Вміст нафтопродуктів на 1 ділянці, яка була забруднена нафтопродуктами, перед закладанням дослідів перевищував допустимий рівень більше ніж у 4 рази, на 2 ділянці, забрудненій пестицидами, – на 191 мг/кг. При вирощуванні очеретянки звичайної їх вміст знизився на ділянці, яка була забруднена нафтопродуктами, на 1364,14 мг/кг; на ділянці, забрудненій пестицидами, – на 565,52 мг/кг. Вирощування міскантусу гігантського також значно знижувало їх вміст в ґрунті – на 1160,08–564,15 мг/кг відповідно.

Вміст фенолів на ділянці, забрудненій нафтопродуктами, становив 0,5 мг/кг та знизився вдвічі за рахунок вирощування енергетичних культур. На ділянці, забрудненій пестицидами, їх вмісту не було виявлено.

Висновки

Вирощування енергетичних рослин як фітореMediaнтів на забруднених землях доз-

воляє не лише знизити рівень деградації, а й підвищити агрономічну цінність цих ґрунтів. Висока продуктивність біомаси енергетичних культур може перетворити технологію фітореMediaції на прибуткову галузь для біоенергетичної промисловості. Енергетичні культури накопичують органіку в ґрунті, збільшуючи вміст карбону в ньому, інтенсивно поглинають вуглекислий газ і зменшують наслідки глобального потепління.

За результатами досліджень встановлено, що реакція ґрунтового розчину, вміст вуглецю та гумусу впродовж 2021–2023 років майже не змінилися за вирощування енергетичних культур на забруднених нафтопродуктами та пестицидами ділянках. При вирощуванні очеретянки звичайної на забруднених ґрунтах значно збільшилася сума ввібраних основ, вміст легкогідролізованого азоту, рухомого фосфору та дещо зменшився вміст обмінного калію, кальцію та рухомої сірки. На дослідних ділянках за вирощування міскантусу гігантського вміст макроелементів дещо знизився за рахунок великої вегетативної маси та недостатнього внесення з мінеральними добривами, водночас вміст обмінного кальцію та рухомої сірки дещо збільшився.

Вміст рухомих форм важких металів у ґрунті внаслідок вирощування енергетичних культур значно знижувався. Зокрема, вміст хрому знизився: на ділянці, забрудненій пестицидами, на 0,55 мг/кг при вирощуванні очеретянки та на 1,06 мг/кг при вирощуванні міскантусу; на ділянці, забрудненій нафтопродуктами, відповідно – на 3,65 та 5,25 мг/кг.

Також значно знижувався вміст масової частки важких металів, найбільше стибію: на ділянці, яка була забруднена пестицидами, – на 60 мг/кг при вирощуванні очеретянки та на 69,61 мг/кг ґрунту при вирощуванні міскантусу; на ділянці, яка була забруднена нафтопродуктами, – на 65,68 та 78,35 мг/кг. Концентрація кадмію на досліджуваних ділянках, де вирощували енергетичні рослини, знижувалася у межах 0,131–0,193 мг/кг при вирощуванні очеретянки звичайної та на 0,187–0,312 мг/кг при вирощуванні міскантусу гігантського відповідно.

Вміст ГХЦГ (суми ізомерів) на ділянці, забрудненій пестицидами, зменшився на 0,099 мг/кг при вирощуванні очеретянки на 0,121 мг/кг при вирощуванні міскантусу; на ділянці, забрудненій

нафтопродуктами, відповідно – на 0,12 та 0,143 мг/кг.

Що стосується вмісту нафтопродуктів, то кращий результат відмічено на ділянках при вирощуванні очеретянки звичайної: їх вміст знизився на ділянці, яка була забруднена нафтопродуктами на 1364,14 мг/кг; на ділянці, забрудненій пестицидами, на 565,52 мг/кг. Вирощування міскантусу гігантського також значно знижувало їх вміст в ґрунті – на 1160,08–564,15 мг/кг.

Вміст фенолів на ділянці, забрудненій нафтопродуктами, становив 0,5 мг/кг та

знизився удвічі за рахунок вирощування енергетичних культур.

Отримані результати дослідження реабілітації ґрунту, забрудненого органічними пестицидами та трансформаторним маслом, за вирощування рослин *Miscanthus x giganteus* та *Phalaris arundinacea* показали, що вони здатні акумулювати як важкі метали, так і органічні забруднювачі та нафтопродукти, тому потрібно продовжувати дані дослідження та вивчати накопичення у фітомасі енергетичних культур токсичних речовин та можливість їх використання.

Список використаної літератури

Блюм Я.Б., Гелетука Г.Г., Григорюк І.П. та ін. Новітні технології біоенергоконверсії. Київ : Аграр Медіа Груп, 2010. 326 с.

Борецька І.Ю., Джура Н.М., Романюк О.І. Фіторе mediaція техногенно забруднених ґрунтів з використанням енергетичних культур. *Екологічні науки*. 2021. № 6 (39). С. 72–76. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.11>.

Гелетука Г.Г., Железна Т.А. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні. *Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України*. 2014. № 7. С. 12–16.

Грабак Н.Х., Будикіна Ю.І. Техногенно забруднені землі та шляхи їх безпечного використання в агропромисловому комплексі. *Наукові праці Вінницького національного аграрного університету. Серія «Екологія»*. 2014. № 220 (232). С. 83–87.

Кулик М.І., Галицька М.А., Самойлік М.С., Жорник І.І. Фіторе mediaційні аспекти використання енергетичних культур в умовах України. *Agrology*. 2019. № 2 (1). С. 65–73. <https://doi.org/10.32819/2617-6106.2018.14020>.

Ласло О.О. Відновлення порушених земель сільськогосподарського призначення за допомогою біоре mediaції. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2014. № 1 (65). С. 94–100.

Пацула О.І., Фецюх А.Б., Буньо А.В. Використання *Salix viminalis* L. для фіторе mediaції ґрунтів, забруднених важкими металами. *Екологічні науки*. 2018. № 2 (20). С. 101–106.

Рахметов Д.Б. Теоретичні та прикладні аспекти інтродукції рослин в Україні. Київ : Аграр Медіа Груп, 2011. 398 с.

Самохвалова В.Л. Біологічні методи ре mediaції ґрунтів, забруднених важкими металами. *Біологічні студії*. 2014. № 8 (1). С. 217–236.

Скачок А.М., Потапенко А.В., Горбаченко Н.І. Агроекологічна ефективність елементів технології вирощування міскантусу на радіоактивно забруднених ґрунтах. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 9. С. 59–66.

Федорчук М.І., Коковіхін С.В., Каленська С.М. та ін. Агротехнологічні аспекти вирощування енергетичних культур в умовах Півдня України. Херсон, 2017. С. 42–45.

Цицюра Я.Г., Шкатула Ю.М., Забарна Т.А., Пелех А.В. Інноваційні підходи до фіторе mediaції та фіторе культивування у сучасних системах землеробства. Вінниця : ТОВ «Друк», 2022. 1200 с.

Barbosa B., Boléo S., Sidella S., Costa J., Duarte M.P., Mendes B., Cosentino S.L., Fernando A.L. Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Soils Using the Perennial Energy Crops *Miscanthus* spp. and *Arundo donax* L. *Bioenergy Research*. 2015. № 8 (4). P. 1500–1511. <https://doi.org/10.1007/s12155-015-9688-9>.

Basumatary B., Saikia R., Bordoloi S. Phytoremediation of crude oil contaminated soil using nut grass *Cyperus rotundus*. *Journal of Environmental Biology*. 2012. № 33 (5). P. 891–896.

de Abreu C.A., Coscione A.R., Pires A.M., Paz-Ferreiro J. Phytoremediation of a soil contaminated by heavy metals and boron using castor oil plants and organic matter amendments. *Journal of Geochemical Exploration*. 2012. № 123. P. 3–7. <https://doi.org/10.1016/j.jgexplo.2012.04.013>.

Gawronski S.W., Gawronska H., Lomnicki S., Sæbo A. Plants in Air Phytoremediation. *Advances in Botanical Research*. 2017. № 83. P. 319–346. <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2016.12.008>.

- Kovalyova S., Mozharivska I. Heavy metal concentration in soils while growing energy crops in the radioactively contaminated territory. *Scientific Horizons*. 2020. № 03 (88). P. 121–126. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-88-3-121-126>.
- Meers E., Van Slycken S., Adriaensen K., Ruttens A., Vangronsveld J., Du Laing G., Witters N., Thewys T., Tack F.M.G. The use of bio-energy crops (*Zea mays*) for 'phytoattenuation' of heavy metals on moderately contaminated soils: A field experiment. *Chemosphere*. 2010. № 78 (1). P. 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.08.015>.
- Moubasher H.A., Hegazy A.K., Mohamed N.H., Moustafa Y.M., Kabieli H.F., Hamad A.A. Phytoremediation of soils polluted with crude petroleum oil using *Bassia scoparia* and its associated rhizosphere microorganisms. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2015. № 98. P. 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.11.019>.
- Pandey V.C., Bajpai O., Singh N. Energy crops in sustainable phytoremediation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. № 54. P. 58–73. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.078>.
- Pandey V.C., Pandey D.N., Singh N. Sustainable phytoremediation based on naturally colonizing and economically valuable plants. *Journal of Cleaner Production*. 2015. № 86. P. 37–39. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.030>.
- Romanchuk L.D., Matviichuk N.H., Abramova I.V., Matviichuk B.V., Tryboi O. Removal of heavy metals by energy crops when grown on technologically contaminated soils. *Ecological Engineering and Environmental Technology*. 2025. № 26 (1). P. 92–102. <https://doi.org/10.12912/27197050/195635>.
- Romantschuk L., Matviichuk N., Mozharivska I., Matviichuk B., Ustylenko V., Tryboi O. Phytoremediation of Soils by Cultivation *Miscanthus x Giganteus* L. and *Phalaris arundinacea* L. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 2024. № 6 (25). P. 137–147. <https://doi.org/10.12912/27197050/186902>.
- Stephen Del Grosso, Pete Smith, Marcelo Galdos, Astley Hastings, William Parton. Sustainable energy crop production. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 2014. № 9–10. P. 20–25. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.07.007>.
- Vis M.W., D. van den Berg. *Biomass Energy Europe Harmonization of biomass resource assessments*. Best Practices and Methods Handbook. Italy, 2010. Vol. I. 220 p.
- Wanat N., Austruy A., Joussein E., Soubrand M., Hitmi A., Gauthier-Moussard C., Lenain J.-F., Vernay P., Munch J.C., Pichon M. Potentials of *Miscanthus x giganteus* grown on highly contaminated Technosols. *Journal of Geochemical Exploration*. 2013. № 126–127. P. 78–84. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.01.001>.
- Witters N., Mendelsohn R. O., Van Slycken S., Weyens N., Schreurs E., Meers E., Tack F., Carleer R., Vangronsveld J. Phytoremediation, a sustainable remediation technology? Conclusions from a case study. I: Energy production and carbon dioxide abatement. *Biomass and Bioenergy*. 2012. № 39. P. 454–469. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.08.016>.

References

- Blum, Ya.B., Heletukha, H.H., & Hryhoriuk, I.P. (2010). Novitni tekhnolohii bioenerhokonversii [The latest technologies of bioenergy conversion]. Kyiv : Ahrar Media Hrup [Agrar Media Group] [in Ukrainian].
- Boretska, I.Iu., Dzhura, N.M., & Romaniuk, O.I. (2021). Fitoremediatsiia tekhnohenno zabrudnennykh gruntiv z vykorystanniam enerhetychnykh kultur [Phytoremediation of technologically polluted soils using energy crops]. *Ekolohichni nauky [Environmental sciences]*, 6 (39), 72–76. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.11> [in Ukrainian].
- Heletukha, H.H., & Zheliezna, T.A. (2014). Perspektyvy vykorystannia vidkhodiv silskoho hospodarstva dlia vyrobnytstva enerhii v Ukraini [Prospects of using agricultural waste for energy production in Ukraine]. *Analitichna zapyska BAU [Analytical note of BAU]*, 7, 12–16 [in Ukrainian].
- Hrabak, N.Kh., & Budykina, Yu.I. (2014). Tekhnohenno zabrudneni zemli ta shliakhy yikh bezpechnoho vykorystannia v ahropromyslovomu kompleksi [Technogenically polluted lands and ways of their safe use in the agro-industrial complex]. *Naukovi pratsi. Ekolohiia [Scientific works. Ecology]*, 220 (232), 83–87 [in Ukrainian].
- Kulyk, M.I., Galytska, M.A., Samoylik, M.S., & Zhornyk, I.I. (2019). Fitoremediatsiini aspekty vykorystannia enerhetychnykh kultur v Ukraini [Phytoremediation aspects of energy crops use in Ukraine]. *Ahrolohiia [Agrology]*, 2 (1), 65–73. <https://doi.org/10.32819/2617-6106.2018.14020> [in Ukrainian].

- Laslo, O.O. (2014). Vidnovlennia porushenykh zemel silskohospodarskoho pryznachennnia za dopomohoiu bioremediatsii [Restoration of disturbed agricultural lands using bioremediation]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia* [Bulletin of the National University of Water Management and Nature Management], 1 (65), 94–100 [in Ukrainian].
- Patsula, O.I., Fetsiukh, A.B., & Buno, L.V. (2018). Vykorystannia *Salix viminalis* L. dlia fitoremediatsii gruntiv, zabrudnennykh vazhkymy metalamy [Use of *Salix viminalis* L. for phytoremediation of soils contaminated with heavy metals]. *Ekolohichni nauky* [Environmental sciences], 2 (20), 101–106 [in Ukrainian].
- Rakhmetov, D.B. (2011). Teoretychni ta prykladni aspekty introduktsii rosllyn v Ukraini [Theoretical and applied aspects of plant introduction in Ukraine]. Kyiv : Ahrar Media Hrup [in Ukrainian].
- Samokhvalova, V.L. (2014). Biolohichni metody remediatsii gruntiv, zabrudnennykh vazhkymy metalamy [Biological methods of remediation of soils contaminated with heavy metals]. *Biolohichni studii* [Biological studies], 8 (1), 217–236 [in Ukrainian].
- Skachok, L.M., Potapenko, L.V., & Horbachenko, N.I. (2019). Ahroekolohichna efektyvnist elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia miskantusu na radioaktyvno zabrudnennykh gruntakh [Agroecological efficiency of elements of miscanthus growing technology on radioactively contaminated soils]. *Visnyk ahrar. nauky* [Visnyk agrar. science], 9, 59–66 [in Ukrainian].
- Fedorchuk, M.I., Kokovikhin, S.V., & Kalenska, S.M. (2017). Ahrotekhnolohichni aspekty vyroshchuvannia enerhetychnykh kultur v umovakh pivdnia Ukrainy [Agrotechnological aspects of growing energy crops in southern Ukraine]. Kherson, 42–45 [in Ukrainian].
- Tsytsiura, Ya.H., Shkatula, Yu.M., Zabarna, T.A., & Pelekh, L.V. (2022). Innovatsiini pidkhody do fitoremediatsii ta fitorekultyvatsii u suchasnykh systemakh zemlerobstva [Innovative approaches to phytoremediation and phytoremediation in modern farming systems]. Vinnytsia : TOV “Druk” [in Ukrainian].
- Barbosa, B., Boléo, S., Sidella, S., Costa, J., Duarte, M.P., Mendes, B., Cosentino, S.L., & Fernando, A.L. (2015). Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Soils Using the Perennial Energy Crops *Miscanthus* spp. and *Arundo donax* L. *Bioenergy Research*, 8 (4), 1500–1511. <https://doi.org/10.1007/s12155-015-9688-9> [in English].
- Basumatary, B., Saikia, R., & Bordoloi, S. (2012). Phytoremediation of crude oil contaminated soil using nut grass *Cyperus rotundus*. *Journal of Environmental Biology*, 33 (5), 891–896 [in English].
- de Abreu, C.A., Coscione, A.R., Pires, A.M., & Paz-Ferreiro, J. (2012). Phytoremediation of a soil contaminated by heavy metals and boron using castor oil plants and organic matter amendments. *Journal of Geochemical Exploration*, 123, 3–7. <https://doi.org/10.1016/j.jgexplo.2012.04.013> [in English].
- Gawronski, S.W., Gawronska, H., Lomnicki, S., & Sæbo, A. (2017). Plants in Air Phytoremediation. *Advances in Botanical Research*, 83, 319–346. <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2016.12.008> [in English].
- Kovalyova, S., & Mozharivska, I. (2020). Heavy metal concentration in soils while growing energy crops in the radioactively contaminated territory. *Scientific Horizons*, 03 (88), 121–126. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-88-3-121-126> [in English].
- Meers, E., Van Slycken, S., Adriaensen, K., Ruttens, A., Vangronsveld, J., Du Laing, G., Witters, N., Thewys, T., & Tack, F.M.G. (2010). The use of bio-energy crops (*Zea mays*) for ‘phytoattenuation’ of heavy metals on moderately contaminated soils: A field experiment. *Chemosphere*, 78 (1), 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.08.015> [in English].
- Moubasher, H.A., Hegaz y, A.K., Mohamed, N.H., Moustafa, Y.M., Kabieli, H.F., & Hamad, A.A. (2015). Phytoremediation of soils polluted with crude petroleum oil using *Bassia scoparia* and its associated rhizosphere microorganisms. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 98, 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.11.019> [in English].
- Pandey, V.C., Bajpai, O., & Singh, N. (2016). Energy crops in sustainable phytoremediation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 58–73. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.078> [in English].
- Pandey, V.C., Pandey, D.N., & Singh, N. (2015). Sustainable phytoremediation based on naturally colonizing and economically valuable plants. *Journal of Cleaner Production*, 86, 37–39. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.030> [in English].
- Romantschuk, L., Matviichuk, N., Mozharivska, I., Matviichuk, B., Ustymenko, V., & Tryboi, O. (2024). Phytoremediation of Soils by Cultivation *Miscanthus x Giganteus* L. and

Phalaris arundinacea L. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 6 (25), 137–147. <https://doi.org/10.12912/27197050/186902> [in English].

Romanchuk, L.D., Matviichuk, N.H., Abramova, I.V., Matviichuk, B.V., Tryboi, O. (2025). Removal of heavy metals by energy crops when grown on technologically contaminated soils. *Ecological Engineering and Environmental Technology*, 26 (1), 92–102. <https://doi.org/10.12912/27197050/195635> [in English].

Stephen Del Grosso, Pete Smith, Marcelo Galdos, Astley Hastings, & William Parton. (2014). Sustainable energy crop production. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 9–10, 20–25. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.07.007> [in English].

Vis, M.W., D. van den Berg (2010). *Biomass Energy Europe Harmonization of biomass resource assessments*. Best Practices and Methods Handbook. Italy, 1 [in English].

Wanat, N., Austruy, A., Joussein, E., Soubrand, M., Hitmi, A., Gauthier-Moussard, C., Lenain, J.-F., Vernay, P., Munch, J.C., & Pichon, M. (2013). Potentials of Miscanthus × giganteus grown on highly contaminated Technosols. *Journal of Geochemical Exploration*, 126–127, 78–84. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.01.001> [in English].

Witters, N., Mendelsohn, R.O., Van Slycken, S., Weyens, N., Schreurs, E., Meers, E., Tack, F., Carleer, & R., Vangronsveld, J. (2012). Phytoremediation, a sustainable remediation technology? Conclusions from a case study. I: Energy production and carbon dioxide abatement. *Biomass and Bioenergy*, 39, 454–469. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.08.016> [in English].

Отримано: 23.01.2025

Прийнято: 17.02.2025



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 11
Український журнал природничих наук
№ 11

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

УДК 633.6/631.5

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.25>

ПРОДУКТИВНІСТЬ, ЯКІСТЬ ТА СТІЙКІСТЬ СОРТІВ ГІРЧИЦІ БІЛОЇ

О. П. Ткачук¹, І. М. Гук²

Важливим елементом технології вирощування гірчиці білої як нішевої культури є підбір її сучасних сортів, здатних реалізувати свій біологічний потенціал у конкретних природно-кліматичних умовах. Мета дослідження – проаналізувати господарсько-біологічні показники сортів гірчиці білої, які внесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних до поширення в Україні, на 2025 рік. Встановлено, що найбільш продуктивними сортами гірчиці білої є Альбатрос – 3,1 т/га, Ослава і Майстер – по 2,9 т/га, Аріадна – 2,8 т/га, Сальфа – 2,7 т/га. Найвищий вміст олії – 40% – мали сорти Ольшанка і Біла Принцеса. Найбільше білку містилося у насінні сортів Лелека, Підпечерицька, Чайка – по 32%, Ольшанка, Веснянка – по 31%, Сальфа, Талісман, Ослава – по 30%. Найбільш посухостійкими були сорти Ольшанка і Біла Принцеса, що мали максимальний бал посухостійкості 9. Найбільш стійкими до осипання насіння виявилися сорти Ольшанка, Чайка, Сальфа, Біла Принцеса, Вероніка, Аріадна, Козачка і Веснянка, що мали бал стійкості 9. Найстійкішими до комплексу хвороб з балом 9 виявилися сорти Ольшанка, Біла Принцеса, Вероніка і Веснянка. Абсолютно стійким до шкідників виявився сорт Вероніка, що мав бал стійкості 9. Бал стійкості до шкідників 8 мали сорти Чайка, Сальфа, Біла Принцеса, Аріадна і Веснянка.

За допомогою кореляційно-регресійного аналізу виявлена негативна практично сильна кореляція між тривалістю вегетаційного періоду гірчиці білої та висотою рослин ($r = -0,6359$). Це вказує на те, що чим триваліший період вегетації сортів гірчиці білої, тим меншої висоти рослин вони досягають. За допомогою кореляційно-регресійного аналізу виявлена сильна позитивна кореляція між стійкістю сортів гірчиці білої до осипання насіння та стійкістю до шкідників ($r = 0,6585$). Тобто чим вища стійкість сортів до впливу шкідників, тим ці сорти більш стійкі до осипання насіння.

Ключові слова: урожайність, посухостійкість, хвороби, шкідники, олійність, білок.

¹ доктор сільськогосподарських наук, професор,
завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)
e-mail: tkachukop@ukr.net
ORCID: 0000-0002-0647-6662

² асистент кафедри рослинництва та садівництва
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)
e-mail: 2000guk@gmail.com
ORCID: 0009-0005-4673-9112

PRODUCTIVITY, QUALITY AND STABILITY OF WHITE MUSTARD VARIETIES

O. P. Tkachuk, I. M. Guk

An important element of the technology of growing white mustard, as a niche crop, is the selection of its modern varieties capable of realizing their biological potential in specific natural and climatic conditions. The purpose of the study is to analyze the economic and biological indicators of white mustard varieties, which are included in the State Register of plant varieties suitable for distribution in Ukraine for 2025.

It was found that the most productive varieties of white mustard are Albatross – 3.1 t/ha, Oslava and Mayster – 2.9 t/ha each, Ariadna – 2.8 t/ha, Salfa – 2.7 t/ha. The highest oil content – 40%, was in the varieties: Olshanka and Bila Princesa. The highest protein content was in the seeds of the varieties Leleka, Pidpecherytska, Chaika – 32% each, Olshanka, Vesnyanka – 31% each, Salfa, Talisman, Oslava – 30%. The most drought-resistant varieties were Olshanka and Bila Princesa, which had a maximum drought resistance score of 9. The most resistant to seed shedding were the varieties Olshanka, Chaika, Salfa, Bila Princesa, Veronika, Ariadna, Kozachka and Vesnyanka, which had a resistance score of 9. The varieties Olshanka, Bila Princesa, Veronika and Vesnyanka were the most resistant to the disease complex with a score of 9. The variety Veronika was absolutely resistant to pests, which had a resistance score of 9. The varieties Chaika, Salfa, Bila Princesa, Ariadna and Vesnyanka had a pest resistance score of 8.

Correlation-regression analysis revealed a negative, practically strong correlation between the duration of the growing season of white mustard and plant height ($r = -0.6359$). This indicates that the longer the growing season of white mustard varieties, the lower the plant height they reach. Correlation-regression analysis revealed a strong positive correlation between the resistance of white mustard varieties to seed shedding and resistance to pests ($r = 0.6585$). That is, the higher the resistance of varieties to the effects of pests, the more resistant these varieties are to seed shedding.

Key words: yield, drought resistance, diseases, pests, oil content, protein.

Вступ

Україна входить до першої десятки країн за площею посівів гірчиці та до п'ятірки найбільших експортерів. Інтерес фермерів до цієї культури значно зріс за останні роки. Це пов'язано зі збільшенням внутрішнього попиту, спрощеною логістикою порівняно з основними олійними культурами та перевагами в сівозміні (Жуйков, 2012).

Загалом, хоча Україна залишається одним з найбільших виробників насіння гірчиці, офіційні дані свідчать, що між 2019 і 2021 роками площа під цією культурою скоротилася з 48 000 га до 20 000 га; у 2022 році вона становила 19 600 га (мінус 7% порівняно з попереднім роком). Нещодавнє скорочення, ймовірно, пов'язане з військовими діями на територіях, де ця культура зазвичай вирощувалася найбільше (південні та Харківська області) (Кернасюк, 2015).

Гірчиця біла належить до нішевих культур, під час вирощування якої можливе скорочення норм мінеральних добрив на 30–50% порівняно з іншими олійними, в т.ч. хрестоцвітими. Включення до сівозміні гірчиці білої дозволяє значно урізноманітнити монокультурний олійний напрям домінування у сівозміні соняшнику та ріпаку (Станкевич, 2016).

Крім того, внаслідок зміни клімату в Україні почастішали посухи. Це збільшило ризики вирощування традиційних сільськогосподарських культур і зумовило необхідність впровадження культур, адаптованих до цих умов. Однією з таких культур є гірчиця. Крім того, що гірчиця є стабільним джерелом якісного насіння та сировини, вона відносно незалежна від умов вирощування, що певною мірою знижує собівартість виробництва, підвищує прибутковість і дозволяє їй більш успішно конкурувати на сучасних аграрних ринках (Жуйков і Жуйков, 2013).

У сучасних умовах сорти стали незамінним засобом реалізації науково-технічного прогресу в сільському господарстві, без якого неможливо обійтися. Сорти є важливою ланкою у складному комплексі організаційно-економічних і технологічних заходів, спрямованих на збільшення виробництва високоякісної сільськогосподарської продукції, а також фактором пом'якшення наслідків екстремальних погодних явищ, тому важливим елементом технології вирощування є підбір сучасних сортів гірчиці, здатних реалізувати свій біологічний потенціал у конкретних природно-кліматичних умовах (Мельник та ін., 2017).

Середня врожайність білої гірчиці становить 1,2–1,5 т/га. Як більш вологолюбна і холодостійка культура біла гірчиця вирощується переважно на Північному Заході України. Хоча гірчиця біла має високий потенціал, варто зазначити, що за посушливих умов під час вегетації врожайність різко знижується. За допомогою адаптованих технологій вирощування можна отримати до 18,0–20,0 ц/га насіння гірчиці білої у виробничих умовах (Могиланська, 2014).

Незважаючи на високі закупівельні ціни, прибутковість гірчиці є недостатньою через відносно низьку врожайність насіння та високі виробничі витрати. Вирішення цієї проблеми має полягати не в технологічних аспектах, а в створенні та передачі у виробництво сортів, що характеризуються високою адаптивністю до екологічних умов зони вирощування. А з огляду на високу екологічну пластичність цієї культури, значний рівень толерантності до різних несприятливих біотичних і абіотичних факторів та її скоростиглість це є досить перспективним. Отже, актуальним завданням є аналіз сучасного сортового складу гірчиці білої за комплексом цінних ознак (Архипенко та ін., 2006).

Матеріал і методи

Проводилося опрацювання Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, на 2025 рік, представленого у Інформаційно-довідковій системі

«Сорт» Українського інституту експертизи сортів рослин (Інформаційно-довідкова система Сорт). Аналізували усі сорти гірчиці білої, представлені у реєстрі за такими показниками: тривалість вегетаційного періоду, висота рослин, стійкість сортів до посухи, осипання насіння, хвороб та шкідників; урожайність насіння, вміст у ньому олії, білка. Проводили обчислення кореляційних залежностей між досліджуваними чинниками (Методика..., 2017).

Результати та обговорення

У Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні, на 2025 рік включено 18 сортів гірчиці білої. Аналіз тривалості їх вегетаційного періоду при вирощуванні на насіння показав, що найскоростиглішими виявилися сорти Талісман – 82 доби, Альбатрос – 83 доби, Аріадна і Веснянка – по 85 діб. Найтриваліший вегетаційний період мав сорт Вероніка – 157 діб. Решта сортів мала тривалість вегетаційного періоду 90–100 діб (табл. 1).

Висота рослин гірчиці білої змінювалася у діапазоні 95–140 см. Найвищими були сорти Запоріжанка – 140 см, Аріадна – 135 см, Талісман – 130 см. Найменшу висоту мали сорти Вероніка – 95 см, Підпечерицька, Альбатрос, Подолянка – по 110 см.

Важливими характеристиками сортів гірчиці білої є їх стійкість до несприятливих умов навколишнього середовища – посухи, хвороб, шкідників, осипання насіння з струч-

Таблиця 1
Тривалість вегетаційного періоду та висота рослин сортів гірчиці білої

Сорти	Висота, см	Вегетаційний період, діб
Ослава	115	90
Ольшанка	126	90
Чайка	115	90
Талісман	130	82
Підпечерицька	110	100
Сальфа	115	95
Біла Принцеса	115	90
Запоріжанка	140	90
Майстер	115	88
Галичанка	115	95
Вероніка	95	157
Танго	115	90
Альбатрос	110	83
Аріадна	135	85
Подолянка	110	100
Козачка	117	95
Лелека	115	90
Веснянка	120	85

ків. Посухостійкість сортів гірчиці білої була досить високою та становила 7–9 балів. Найбільш посухостійкими були сорти Ольшанка і Біла Принцеса, що мали максимальний бал посухостійкості 9. Найбільш уразливими до посухи були сорти Чайка, Галичанка, Альбатрос і Подолянка, що мали бал стійкості по 7. Решта сортів гірчиці білої мала бал посухостійкості 8 (табл. 2).

Найбільш стійкими до осипання насіння виявилися сорти Ольшанка, Чайка, Сальфа, Біла Принцеса, Вероніка, Аріадна, Козачка і Веснянка, що мали бал стійкості 9. Найбільше осипається насіння у сорту Подолянка, який мав бал 7. У всіх інших сортів бал стійкості до осипання насіння становив 8.

Гірчиця біла може уражуватися такими хворобами: філостиктоз, борошниста роса, біла гниль, кила, септоріоз. Усереднені бали стійкості сортів гірчиці білої до комплексу хвороб становили 7–9. Найстійкішими до комплексу зазначених хвороб з балом 9 виявилися сорти Ольшанка, Біла Принцеса, Вероніка і Веснянка. Найбільше уражуються хворобами з балом 7 сорти Сальфа, Майстер, Козачка.

Основними шкідниками гірчиці білої є гірчичний клоп, гірчичний листоїд, хрестоцвіті блішки. Середній бал стійкості сортів гірчиці білої до комплексу шкідників становив 6–9 балів. Абсолютно стійким

до шкідників виявився сорт Вероніка, що мав бал стійкості 9. Бал стійкості до шкідників 8 мали сорти Чайка, Сальфа, Біла Принцеса, Аріадна і Веснянка. Найбільше пошкоджується шкідниками сорт гірчиці білої Підпечерицька, що мав бал стійкості 6. Решта сортів мала бал стійкості 7.

Урожайність насіння гірчиці білої варіювала у діапазоні 1,8–3,1 т/га. Найбільш урожайними були сорти Альбатрос – 3,1 т/га, Ослава і Майстер – по 2,9 т/га, Аріадна – 2,8 т/га, Сальфа – 2,7 т/га. Найнижча урожайність насіння була зафіксована у сортів Вероніка – 1,8 т/га, Чайка – 1,9 т/га, Запоріжанка, Танго, Лелека, Веснянка – по 2,0 т/га (табл. 3).

Важливими якісними характеристиками насіння гірчиці білої є вміст у ньому білку та олії. Вміст олії варіював у діапазоні 25–40%. Найвищий вміст олії – 40% – мали сорти Ольшанка і Біла Принцеса. Найменше олії містилося у насінні сортів Підпечерицька – 25%, Ослава і Талісман – по 28%.

Вміст білку у насінні сортів гірчиці білої коливався у діапазоні 19–32%. Найбільше білку містилося у насінні сортів Лелека, Підпечерицька, Чайка – по 32%, Ольшанка, Веснянка – по 31%, Сальфа, Талісман, Ослава – по 30%. Найменше білку мав сорт Майстер – 19%.

За допомогою кореляційно-регресійного аналізу виявлена негативна практично

Таблиця 2
Стійкість сортів гірчиці білої до несприятливих екологічних чинників, бали

Сорти	Посухостійкість	Стійкість до осипання насіння	Стійкість до хвороб	Стійкість до шкідників
Ослава	8	8	8	7
Ольшанка	9	9	9	7
Чайка	7	9	8	8
Талісман	8	8	8	7
Підпечерицька	8	8	8	6
Сальфа	8	9	7	8
Біла Принцеса	9	9	9	8
Запоріжанка	8	8	8	7
Майстер	8	8	7	7
Галичанка	7	8	8	7
Вероніка	8	9	9	9
Танго	8	8	8	7
Альбатрос	7	8	8	7
Аріадна	8	9	8	8
Подолянка	7	7	8	7
Козачка	8	9	7	7
Лелека	8	8	8	7
Веснянка	8	9	9	8

Таблиця 3

Урожайність і якість насіння сортів гірчиці білої

Сорти	Урожайність насіння, т/га	Вміст олії, %	Вміст білку, %
Ослава	2,9	28	30
Ольшанка	2,2	40	31
Чайка	1,9	35	32
Талісман	2,3	28	30
Підпечерицька	2,1	25	32
Сальфа	2,7	34	30
Біла Принцеса	2,5	40	27
Запоріжанка	2,0	30	25
Майстер	2,9	35	19
Галичанка	2,3	32	29
Вероніка	1,8	30	25
Танго	2,0	30	25
Альбатрос	3,1	36	25
Аріадна	2,8	35	26
Подольнянка	2,5	30	25
Козачка	2,6	33	29
Лелека	2,0	35	32
Веснянка	2,0	32	31

сильна кореляція між тривалістю вегетаційного періоду гірчиці білої та висотою рослин ($r = -0,6359$). Це вказує на те, що чим тривалішим є період вегетації сортів гірчиці білої, тим меншої висоти рослин вони досягають. Це збігається з даними, отриманими іншими науковцями (Шувар та ін., 2009; Butenko et al., 2022).

За допомогою кореляційно-регресійного аналізу виявлена сильна позитивна кореляція між стійкістю сортів гірчиці білої до осипання насіння та стійкістю до шкідників ($r = 0,6585$). Тобто чим вища стійкість сортів до впливу шкідників, тим ці сорти більш стійкі до осипання насіння. Подібна закономірність була встановлена низкою інших авторів (Dhaliwal et al., 2021; Gamayunova et al., 2024).

Таким чином, встановлено, що найвищу урожайність насіння формує сорт гірчиці білої Альбатрос – 3,1 т/га. Це забезпечується найкоротшим періодом вегетації – 83 доби, незначною висотою рослин – 110 см. Проте цей сорт має низький бал посухостійкості – 7, низьку стійкість до шкідників – 7 балів.

Сорт Ослава мав урожайність насіння 2,9 т/га, але водночас низький бал стійкості до шкідників – 7, низький вміст олії у насінні – 28%, але високий вміст білку – 30%. Сорт Майстер також мав високу урожайність насіння – 2,9 т/га, але низьку стійкість до хвороб і шкідників – по 7 балів,

а також низький вміст білку – 19%. Сорт Аріадна забезпечив урожайність 2,8 т/га та мав найбільшу висоту рослин – 135 см, найкоротший період вегетації – 85 діб. Також відзначався максимальною стійкістю до осипання насіння – 9 балів. Сорт Сальфа мав урожайність 2,7 т/га та був максимально стійким до осипання насіння – 9 балів, але дуже уразливим до хвороб – 7 балів, але мав високий вміст білка – 30%.

Найменш продуктивні сорти гірчиці білої: Вероніка, що мав урожайність насіння 1,8 т/га та відзначався найдовшим періодом вегетації – 157 діб, найменшою висотою – 95 см, але водночас мав найбільшу стійкість до осипання насіння, шкідників і хвороб – по 9 балів; сорт Чайка мав урожайність 1,9 т/га та був найменш посухостійким – 7 балів, але найбільш стійким до осипання насіння – 9 балів, але мав найвищий вміст білку у насінні – 32%. Отримані дані підтверджуються за результатами досліджень інших авторів (Rozhkov et al., 2024; Voloshchuk et al., 2024).

Висновки

Таким чином, встановлено, що найбільш продуктивними сортами гірчиці білої є Альбатрос – 3,1 т/га, Ослава і Майстер – по 2,9 т/га, Аріадна – 2,8 т/га, Сальфа – 2,7 т/га. Найвищий вміст олії – 40% – мали сорти Ольшанка і Біла Принцеса. Найбільше білку містилося у насінні сортів Лелека,

Підпечерицька, Чайка – по 32%, Ольшанка, Веснянка – по 31%, Сальфа, Таїсман, Ослава – по 30%. Найбільш посухостійкими були сорти Ольшанка і Біла Принцеса, що мали максимальний бал посухостійкості 9. Найбільш стійкими до осипання насіння виявилися сорти Ольшанка, Чайка, Сальфа, Біла Принцеса, Вероніка, Аріадна,

Козачка і Веснянка, що мали бал стійкості 9. Найстійкішими до комплексу хвороб з балом 9 виявилися сорти Ольшанка, Біла Принцеса, Вероніка і Веснянка. Абсолютно стійким до шкідників виявився сорт Вероніка, що мав бал стійкості 9. Бал стійкості до шкідників 8 мали сорти Чайка, Сальфа, Біла Принцеса, Аріадна і Веснянка.

Список використаної літератури

Архипенко Ф.М. Слюсар С.М., Оксимець О.Л. Гірчиця біла – культура широкого діапазону використання. *Агроном.* 2006. № 3. С. 20–22.

Жуйков О.Г. Комплексна агробіологічна оцінка сучасного сортового складу гірчиці білої в умовах сухого Степу. *Зрошуване землеробство.* 2012. Вип. 58. С. 94–99.

Жуйков О.Г., Жуйков Г.Є. Роль гірчиці та продуктів її переробки у формуванні продуктового сегменту АПК України. *Бізнес-навігатор.* 2013. № 1. С. 141–147.

Інформаційно-довідкова система «Сорт» [Електронний ресурс]. URL: <http://sort.sops.gov.ua/search/search> (дата звернення 05.01.2025).

Кернасюк Ю. Експортний тренд – нішеві культури. *Агробізнес сьогодні.* 2015. № 4. С. 55–59.

Мельник А.В., Жердецька С.В., Шабір Г., Алі Ш. Сортові особливості формування продуктивності різних видів гірчиці ярої в умовах Північно-Східного Лісостепу України. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія».* 2017. № 2. С. 103–108.

Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Загальна частина. Український інститут експертизи сортів рослин / уклад. : С.О. Ткачик, О.І. Присяжнюк, Н.В. Лещук. Вінниця : ФОП «Корзун Д.Ю.», 2017. 119 с.

Могиланська Н.О. Сучасний стан і перспективи переробки олійних культур. *Зернові продукти і комбікорм.* 2014. № 1 (53). С. 22–25.

Станкевич С. Чи є альтернатива ріпаку? *Агробізнес сьогодні.* 2016. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.agro-business.com.ua/agronomiia-siogodni/6074-chy-ie-alternatyva-ripaku.html> (дата звернення 05.01.2025).

Шувар І.А., Бойко І.Є., Лис Н.М., Верещинський Р.А. Гірчиця біла та її ефективне використання в біологізації землеробства. Львів : ЛНАУ, 2009. 69 с.

Butenko S., Melnyk A., Melnyk T., Jia P., Kolosok V. Influence of growth regulators with antistress activity on productivity parameters of *Sinapis alba* L. *Journal of Ecological Engineering.* 2022. № 23 (9). P. 128–135. <https://doi.org/10.12911/22998993/151780>.

Dhaliwal S.S., Sharma V., Shukla A.K., Verma V., Sandhu P.S., Behera S.K., Hossain A. Interactive effects of foliar application of zinc, iron and nitrogen on productivity and nutritional quality of Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *Agronomy.* 2021. № 11 (11). Article number 2333. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112333>.

Gamayunova V., Khonenko L., Mykolaichuk V., Kuvshinova A. Prospects and directions of diversification of oilseed group crops. *Scientific Horizons.* 2024. № 27 (10). P. 102–112. <https://doi.org/10.48077/scihor10.2024.102>.

Rozhkov A., Kyrychenko M., Derevianko I., Semenenko I., Sevidov V. Productivity of brown mustard plants depending on pre-sowing application of mineral fertilisers and foliar feeding. *Scientific Horizons.* 2024. № 27 (1). P. 94–104. <https://doi.org/10.48077/scihor1.2024.94>.

Voloshchuk I., Stasiv O., Voloshchuk O., Hlyva V., Voloshchuk M. *Sinapis alba* L. as an important green manure and fodder crop in the Carpathian region of Ukraine. *Scientific Horizons.* 2024. № 27 (7). P. 45–52. <https://doi.org/10.48077/scihor7.2024.45>.

References

Arkhipenko, F.M. Slyusar, S.M., & Oksimets, O.L. (2006). Girchytsya bila – kul'tura shyrokooho diapazonu vykorystannya [White mustard – a crop with a wide range of uses]. *Ahronom [Agronomist]*, 3, 20–22 [in Ukrainian].

Zhuikov, O.G. (2012). Kompleksna ahrobiolohichna otsinka suchasnoho sortovoho skladu hirchytsi biloyi v umovakh sukhoho Stepu [Comprehensive agrobiological assessment of the modern varietal composition of white mustard in the conditions of the dry Steppe]. *Zroshuvane zemlerobstvo [Irrigated agriculture]*, 58, 94–99 [in Ukrainian].

Zhuikov, O.G., & Zhuikov, G.E. (2013). Rol' harchytsi ta produktiv yiyi pererobky u formuvanni produktovoho sehmentu APK Ukrayiny [The role of mustard and its processing products in the formation of the product segment of the Ukrainian agro-industrial complex]. *Biznes-navihator [Business Navigator]*, 1, 141–147 [in Ukrainian].

Informatsiyno-dovidkova systema Sort [Sort Information and Reference System]. [Electronic resource] URL: <http://sort.sops.gov.ua/search/search> (access date 05.01.2025) [in Ukrainian].

Kernasyuk, Yu. (2015). Eksportnyy trend – nishevi kultury [Export trend – niche crops]. *Ahrobiznes sohodni [Agribusiness today]*, 4, 55–59 [in Ukrainian].

Melnyk, A.V., Zherdetska, S.V., Shabir, G., & Ali, Sh. (2017). Sortovi osoblyvosti formuvannya produktyvnosti riznykh vydiv harchytsi yarozy v umovakh pivnichno-skhidnoho Lisostepu Ukrayiny [Varietal features of the formation of productivity of different types of spring mustard in the conditions of the northeastern Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarynoho universytetu. Seriya: Ahronomiya i biolohiya [Bulletin of the Sumy National Agrarian University. Series: Agronomy and Biology]*, 2, 103–108 [in Ukrainian].

Metodyka provedennya kvalifikatsiynoyi ekspertyzy sortiv roslyn na prydatnist do poshyrennya v Ukrayini. Zahal'na chastyna (2017). [Methodology for conducting qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. General part]. *Ukrayinskyy instytut ekspertyzy sortiv roslyn [Ukrainian Institute of Plant Variety Examination]*. Compiled by: S.O. Tkachyk, O.I. Prysyazhnyuk, N.V. Leshchuk. Vinnytsia: FOP Korzun D. Yu. 119 p. [in Ukrainian].

Mohylyanska, N.O. (2014). Suchasnyy stan i perspektyvy pererobky oliynykh kul'tur [Current status and prospects of oilseed processing]. *Zernovi produkty i kombikorm [Grain products and compound feed]*, 1 (53), 22–25 [in Ukrainian].

Stankevych, S. (2016). Chy ye alternatyva ripaku? [Is there an alternative to rapeseed?]. *Ahrobiznes sohodni [Agribusiness Today]*. [Electronic resource] URL: <http://www.agro-business.com.ua/agronomiia-siogodni/6074-chy-ie-alternatyva-ripaku.html>. (accessed 05.01.2025) [in Ukrainian].

Shuvar, I.A., Boyko, I.E., Lys, N.M., & Vereshchynskyi, R.A. (2009). Harchytsya bila ta yiyi efektyvne vykorystannya v biolohizatsiyi zemlerobstva [White mustard and its effective use in biologization of agriculture]. Lviv : LNAU. 69 p. [in Ukrainian].

Butenko, S., Melnyk, A., Melnyk, T., Jia, P., & Kolosok, V. (2022). Influence of growth regulators with antistress activity on productivity parameters of *Sinapis alba* L. *Journal of Ecological Engineering*, 23 (9), 128–135. <https://doi.org/10.12911/22998993/151780> [in English].

Dhaliwal, S.S., Sharma, V., Shukla, A.K., Verma, V., Sandhu, P.S., Behera, S.K., & Hossain, A. (2021). Interactive effects of foliar application of zinc, iron and nitrogen on productivity and nutritional quality of Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *Agronomy*, 11 (11), 2333. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112333> [in English].

Gamayunova, V., Khonenko, L., Mykolaichuk, V., & Kuvshinova, A. (2024). Prospects and directions of diversification of oilseed group crops. *Scientific Horizons*, 27 (10), 102–112. <https://doi.org/10.48077/scihor10.2024.102> [in English].

Rozhkov, A., Kyrychenko, M., Derevianko, I., Semenenko, I., & Sevidov, V. (2024). Productivity of brown mustard plants depending on pre-sowing application of mineral fertilisers and foliar feeding. *Scientific Horizons*, 27 (1), 94–104. <https://doi.org/10.48077/scihor1.2024.94> [in English].

Voloshchuk, I., Stasiv, O., Voloshchuk, O., Hlyva, V., & Voloshchuk, M. (2024). *Sinapis alba* L. as an important green manure and fodder crop in the Carpathian region of Ukraine. *Scientific Horizons*, 27 (7), 45–52. <https://doi.org/10.48077/scihor7.2024.45> [in English].

Отримано: 16.01.2025
Прийнято: 31.01.2025



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 11
Український журнал природничих наук
№ 11

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

УДК 633.854.78 : 631. 51

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.26>

ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЙОМІВ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ТА КОНТРОЛЮВАННЯ БУР'ЯНІВ ПРИ ВИРОЩУВАННІ СОНЯШНИКА

**С. М. Шевченко¹, М. С. Шевченко², К. А. Деревенець-Шевченко³, О. М. Шевченко⁴,
О. В. Заверталюк⁵**

Соняшник є важливою культурою для агропромислового сектору, проте його вирощування супроводжується проблемами, пов'язаними зі збереженням родючості ґрунтів, ефективним викорис-

¹ доктор сільськогосподарських наук,
старший науковий співробітник,
доцент кафедри загального землеробства та ґрунтознавства
(Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро)
e-mail: s.m.shevchenko@ukr.net
ORCID: 0000-0002-1666-3672

² доктор сільськогосподарських наук, професор,
завідувач лабораторії землеробства та родючості ґрунтів,
(Державна установа Інститут зернових культур Національної академії аграрних наук України,
м. Дніпро)
e-mail: m.s.shevchenko@ukr.net
ORCID: 0000-0002-6779-0292

кандидат біологічних наук,
старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник лабораторії захисту рослин
(Державна установа Інститут зернових культур Національної академії аграрних наук України,
м. Дніпро)
e-mail: katia_derevenets@ukr.net
ORCID: 0000-0002-0469-0972

⁴ кандидат сільськогосподарських наук,
старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник лабораторії землеробства
та родючості ґрунтів
(Державна установа Інститут зернових культур Національної академії аграрних наук України,
м. Дніпро)
e-mail: o.m.shevchenko@ukr.net
ORCID: 0000-0002-2743-7988

⁵ кандидат сільськогосподарських наук,
асистент кафедри загального землеробства та ґрунтознавства
(Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро)
e-mail: zavertaliuk.o.v@dsau.dp.ua
ORCID: 0000-0003-3889-7215

танням вологоресурсів і контролюванням бур'янів. У дослідженні проаналізовано вплив основного обробітку ґрунту та застосування гербіцидів на агроecosистему соняшника. Метою дослідження було визначення ефективності агротехнічних і хімічних прийомів, спрямованих на підвищення продуктивності соняшника за умов степової зони України. Методологія включала закладання польових дослідів із двома варіантами основного обробітку ґрунту (оранка на 23–25 см, дисковий обробіток на 10–12 см) та використання гербіцидів різного спектра дії (Аспект Про, Євро-Лайтнінг Плюс, Геліантекс). Аналіз впливу проведено на основі показників врожайності, забур'яненості посівів і запасів вологи. За результатами дослідження встановлено, що оранка сприяла збільшенню запасів доступної вологи на 13 мм порівняно з дисковим обробітком. Гербіциди максимальнo знизили забур'яненість до 3,6–4,4 шт./м² на фоні оранки та до 5,9–7,0 шт./м² на фоні дискового обробітку. Урожайність насіння соняшника за використання гербіцидів і оранки досягла 3,62–3,64 т/га, що на 1,62 т/га більше, ніж на контрольних варіантах. Наукова новизна полягає у встановленні взаємозв'язку між типом основного обробітку ґрунту, використанням гербіцидів і агроecологічними умовами для підвищення продуктивності соняшника. Вперше визначено, що поєднання оранки з гербіцидами знижує забур'яненість на 12–16% порівняно з мінімальними заходами контролю. Практична значущість полягає у рекомендаціях для фермерських господарств щодо застосування оптимальних прийомів обробітку ґрунту та гербіцидів, які сприяють збереженню ґрунтової родючості, зниженню забур'яненості та підвищенню врожайності соняшника.

Ключові слова: родючість, сівозмiна, гербіциди, забур'яненість, врожайність, агроecosистема.

EFFICIENCY OF PRIMARY TILLAGE PRACTICES AND WEED CONTROL IN SUNFLOWER CULTIVATION

**S. M. Shevchenko, M. S. Shevchenko, K. A. Derevenets-Shevchenko,
O. M. Shevchenko, O. V. Zavertalyuk**

Sunflower is a crucial crop for the agro-industrial sector, but its cultivation faces challenges related to soil fertility preservation, efficient use of water resources, and weed control. This study analyzes the impact of primary tillage practices and herbicide application on the agroecosystem of sunflowers. The research aimed to evaluate the efficiency of agronomic and chemical measures designed to enhance sunflower productivity under the steppe zone conditions of Ukraine. The methodology included field experiments with two primary tillage options (plowing to a depth of 23–25 cm and disc tillage to a depth of 10–12 cm) and the use of herbicides with different spectra of activity (Aspect Pro, Euro-Lightning Plus, Helianthex). The analysis was based on indicators such as yield, weed infestation, and soil moisture reserves. The results revealed that plowing increased available moisture reserves by 13 mm compared to disc tillage. Herbicides significantly reduced weed infestation to 3.6–4.4 plants/m² under plowing and 5.9–7.0 plants/m² under disc tillage. Sunflower seed yields under herbicide application and plowing reached 3.62–3.64 t/ha, which was 1.62 t/ha higher than in control variants. The scientific novelty lies in establishing the relationship between the type of primary tillage, herbicide use, and agroecological conditions to improve sunflower productivity. For the first time, it was determined that combining plowing with herbicides reduces weed infestation by 12–16% compared to minimal control measures. The practical significance includes recommendations for farm enterprises on applying optimal tillage practices and herbicides to preserve soil fertility, reduce weed infestation, and increase sunflower yields.

Key words: fertility, crop rotation, herbicides, weed infestation, yield, agroecosystem.

Вступ

Актуальність дослідження визначається нагальною необхідністю підвищення ефективності вирощування соняшника в умовах степової зони України, де агрокліматичні чинники суттєво ускладнюють ведення сільського господарства. Зокрема, ця зона характеризується високим рівнем ерозії ґрунтів, дефіцитом вологи, а також значною забур'яненістю посівів, що призводить до зниження врожайності культур. Соняшник,

який є однією з найбільш перспективних олійних культур в Україні, має високу ліквідність на ринку, однак його вирощування за таких умов потребує вирішення низки важливих проблем. До них належить раціональне використання вологоресурсів, збереження родючості ґрунтів і підвищення стійкості культури до несприятливих екологічних факторів. Попри досягнення в агротехніці вирощування соняшника, питання підвищення ефективності його вирощу-

вання в умовах обмежених вологоресурсів та необхідності поліпшення фітосанітарного стану ґрунтів залишаються актуальними. Зокрема, розробка методів боротьби з ерозією ґрунтів, удосконалення технологій обробітку та захисту рослин від бур'янів, а також забезпечення стабільної врожайності в умовах змінного клімату є важливими напрямками досліджень (Адаменко, 2007; Гадзало та ін., 2022). Однак, попри значний науковий прогрес, проблеми раціонального використання ресурсів, забезпечення стійкості рослин до несприятливих умов та досягнення оптимальних показників врожайності залишаються невирішеними у контексті різних видів обробітку ґрунту та систем захисту рослин.

На основі літературних джерел можна відзначити, що оранка як прийом основного обробітку ґрунту демонструє високу ефективність у контролюванні бур'янів та покращує фізичні властивості ґрунту. Однак тривале застосування цього прийому без урахування екологічних факторів може призвести до деградації ґрунтів, зниження їх родючості та підвищення ерозійних процесів (Kaminskyi et al., 2022; Achankeng et al., 2023). Мілкий дисковий обробіток є менш енергоємним і дозволяє зберігати більше вологи в ґрунті, однак цей прийом має певні обмеження у контролюванні забур'яненості, особливо в посушливих умовах (Гордієнко та ін., 1991; Лебідь, 2006; Busar et al., 2015). Водночас застосування гербіцидів є необхідним елементом для контролю бур'янів, однак їх ефективність значною мірою залежить від технології обробітку ґрунту і способу їх використання (Шевченко та ін., 2013). Проблема вибору оптимального поєднання прийому обробітку ґрунту та застосування хімічних засобів захисту рослин зберігається на актуальному рівні і потребує додаткових досліджень.

Основною метою даного дослідження є визначення ефективності різних прийомів основного обробітку ґрунту, вибір найбільш ефективних гербіцидів для контролю бур'янів та дослідження їх впливу на урожайність соняшника в умовах степової зони України. Важливим завданням є вивчення комплексного підходу, що включає не тільки прийоми обробітку ґрунту, але й використання ефективних засобів захисту рослин для забезпечення стабільної та високої врожайності соняшника.

Ці результати є надзвичайно важливими для агропромислового комплексу України,

оскільки вони дозволять розробити ефективні стратегії, спрямовані на підвищення продуктивності землеробства, збереження родючості ґрунтів та досягнення сталого розвитку сільського господарства в умовах глобальних змін клімату.

Матеріал і методи

Протягом 2021–2023 років були проведені польові дослідження на базі фермерського господарства «Олімп-2012» у Петрівському районі Кіровоградської області, в яких вивчалися впливи різних прийомів основного обробітку ґрунту (оранка плугом ПО-3-35 на глибину 23–25 см та мілкий дисковий обробіток важкою бороною БДВ-3 на глибину 10–12 см) та гербіцидів нового покоління: Аспект Про 533 SC, к.с. (тербутилазин, 333 г/л + флуфенацет, 200 г/л) в нормі 2,2 л/га, Євро-Лайтнінг Плюс, р.к. (Імазапір, 7,5 г/л, Імазамокс, 16,5 г/л) в нормі 2,0 л/га, Геліантекс, к.с. в нормі 0,045 л/га + ПАР Віолт. Усі технологічні операції в дослідженнях здійснювалися відповідно до зональних регламентів вирощування соняшника, враховуючи місцеві агрокліматичні умови (Ушкаренко та ін., 2008; Мазур та ін., 2020).

Для оцінки ефективності обробітку ґрунту та гербіцидів використовувалися показники вологозабезпечення ґрунту, забур'яненості посівів і врожайності насіння соняшника. Особливу увагу приділено вивченню сезонної динаміки запасів доступної вологи в ґрунті та впливу різних варіантів обробітку на збереження вологи в умовах степової зони. Також були оцінені фітотоксичність гербіцидів на рослини соняшника, їх вплив на забур'яненість і продуктивність посівів.

У ході дослідження враховувалися всі технологічні операції та погодні умови, які відповідали характерним для степової зони, зокрема сприятливі гідротермічні умови для отримання високого рівня врожайності соняшника.

Результати та їх обговорення

Графічне представлення сезонної динаміки запасів доступної вологи в ґрунті висвітлює ключові особливості її накопичення і витрачання в період від збирання попередника соняшника до завершення його вегетації та збору врожаю. Протягом цього тривалого періоду вологозапаси в шарі ґрунту 0–150 см зазнавали значних коливань: від мінімального рівня після збирання попередника (37–39 мм) до максимальних значень перед початком сівби соняшника

(183–196 мм), що підтверджується даними рисунка 1.

Цей аналіз є надзвичайно важливим для функціонування агроєкосистеми, оскільки соняшник характеризується високою потребою у волозі (Гангур та ін., 2022). Для системного підходу до оцінки вологоспоживання в сівозмінній агросистемі важливо враховувати роль прийомів основного обробітку ґрунту. Так, після практично повного виснаження ґрунтових вологозапасів на момент збирання попередника обидва варіанти обробітку – оранка на глибину 23–25 см і мілкий дисковий обробіток на 10–12 см – демонстрували схожі результати щодо накопичення вологи (37–39 мм). Проте у період максимальної вологозабезпеченості навесні перевага оранки становила 13 мм порівняно з мілким дисковим обробітком.

Окрім забезпечення вологозапасів, важливою технологічною задачею у вирощуванні соняшника є зниження забур'яненості посівів і ґрунту (Жуйков та ін., 2021). Це сприяє запобіганню суттєвих втрат урожаю та покращенню фітосанітарного стану сівозміни загалом. Польові дослідження були організовані так, щоб оцінити ефективність як агротехнічних, так і хімічних методів контролювання бур'янів. Це дозволило визначити продуктивний потенціал і конкурентоспроможність агроценозу соняшника, а також оцінити ризики для господарської діяльності, пов'язані з рівнем забур'яненості.

З дослідних варіантів, вивчених у ході експерименту, можна рекомендувати декілька ефективних комбінацій із максимальною фітотоксичною дією проти найбільш

шкодочинних бур'янів. Пріоритетними серед них є обприскування гербіцидом Геліантекс, к.с. (0,045 л/га) у фазі культури 6–8 листків, Євро-Лайтнінг Плюс, р.к. (2 л/га) у тій же фазі, а також передпосівне внесення препарату Аспект Про, к.с. (2,2 л/га). Застосування цих гербіцидних комбінацій забезпечило мінімальну щільність бур'янів до кінця вегетації соняшника: 3,6–4,4 шт./м² на фоні оранки та 5,9–7,0 шт./м² при мілкому дисковому обробітку (табл. 1).

Максимальна технічна ефективність гербіцидів була досягнута за поєднання агротехнічних і хімічних заходів контролювання бур'янів, що дозволило досягти найнижчої щільності фітоценозу – 4,1 шт./м² при оранці та 6,8 шт./м² при мілкому дисковому обробітку ґрунту. Водночас загальною тенденцією впливу прийомів основного обробітку ґрунту стало збільшення забур'яненості при мінімізації його інтенсивності. Це зростання становило 12–16% незалежно від використання різноспектрових гербіцидів чи лише агротехнічних методів.

Для оцінки шкодочинності та конкурентоздатності агроценозу соняшника важливим є показник забур'яненості у вигляді повітряно-сухої маси бур'янів, який демонструє найбільш тісні кореляції з рівнем урожайності (Іващенко, 2020). Дані табл. 2 відображають значний контраст між варіантами з мінімальним контролем бур'янів і тими, де забезпечено повну фітотоксичну дію гербіцидів. Зокрема, на варіантах контролю, де бур'яни не контролювалися, їх маса становила 125 г/м² на фоні оранки та

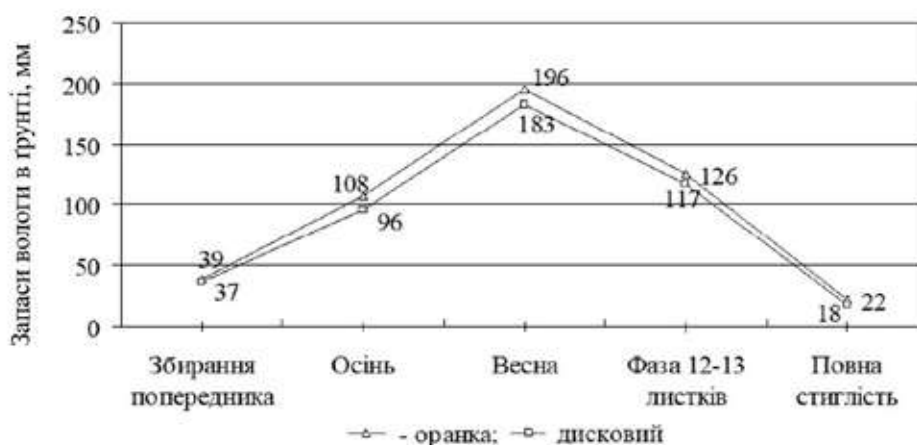


Рис. 1. Сезонна динаміка формування ґрунтових вологозапасів при вирощуванні соняшника в шарі ґрунту 0–150 см, мм (середнє за 2021–2023 рр.) (Шевченко, 2024)

Таблиця 1

Вплив прийомів обробітку ґрунту та гербіцидів на забур'яненість посівів соняшника у фазу повної стиглості, шт./м² (середнє за 2021–2023 рр.) (Шевченко, 2024)

Контроль бур'янів	Прийом обробітку ґрунту	
	Оранка	Дисковий мілкий
Контроль без догляду	63,1	87,3
Контроль без бур'янів	0	0
Механізований догляд	26,7	33,0
Аспект Про, к.с. в нормі 2,2 л/га + міжрядний обробіток	4,1	6,8
Євро-Лайтнінг Плюс, р.к. в нормі 2,0 л/га	4,4	7,0
Геліантекс у дозі 0,045 л/га + ПАР Віволт	3,6	5,9
НІР ₀₅ , шт./м ² обробіток ґрунт – 1,3–1,5; контроль бур'янів – 1,6–1,9		

Таблиця 2

Оцінка шкодочинності бур'янів за показниками їх повітряно-сухої маси у фазу повної стиглості соняшника, г/м² (середнє за 2021–2023 рр.) (Шевченко, 2024)

Контроль бур'янів	Прийом обробітку ґрунту	
	Оранка	Дисковий мілкий
Контроль без догляду	125	153
Контроль без бур'янів	0	0
Механізований догляд	54	67
Аспект Про, к.с. в дозі 2,2 л/га + міжрядний обробіток	8	12
Євро-Лайтнінг Плюс, р.к. в дозі 2,0 л/га	9	13
Геліантекс, к.с. в дозі 0,045 л/га + ПАР Віволт	6	10
НІР ₀₅ , г/м ² обробіток ґрунту – 2–3; контроль бур'янів – 3–4		

153 г/м² при мілкому дисковому обробітку. Використання високоефективних гербіцидів із адаптивним спектром дії зменшувало масу бур'янів до 6–9 г/м² за оранки та до 10–13 г/м² при дисковому обробітку ґрунту, що підтверджує їх високу ефективність у зниженні забур'яненості посівів соняшника.

Асоціативне формування врожайності соняшника, зумовлене реакцією рослин на агрофізичні характеристики ґрунту, прийоми основного його обробітку, рівень біологічної конкурентності в умовах забур'яненості посівів, стійкість до токсичних впливів гербіцидів та агротехнологічне моделювання вологозабезпеченості підтвердили взаємозалежність усіх зазначених факторів. Отримані результати забезпечили об'єктивне пояснення динаміки врожайності з огляду на сукупний вплив цих ключових елементів агроєкосистеми (табл. 3).

Найвищу врожайність забезпечує контроль без бур'янів, де за оранки отримано 3,78 т/га, а за дискового обробітку – 3,47 т/га. Серед гербіцидів найбільшу ефективність показали Аспект Про, к.с.

(2,2 л/га у поєднанні з міжрядним обробітком) і Геліантекс, к.с. (0,045 л/га разом із ПАР Віволт): за оранки врожайність становила 3,64 і 3,62 т/га відповідно, тоді як за дискового обробітку – 3,26 і 3,20 т/га. Євро-Лайтнінг Плюс, р.к. (2,0 л/га) забезпечив дещо нижчі показники, а саме 3,59 т/га за оранки і 3,18 т/га за дискового обробітку. Механізований догляд демонструє середній рівень ефективності з врожайністю 2,91 т/га для оранки і 2,63 т/га для дискового обробітку. Найнижчу врожайність отримано за контролю без догляду – 2,02 т/га при оранці та 1,56 т/га при дисковому обробітку.

Економічна оцінка агротехнологічних прийомів вирощування соняшника є важливим аспектом для підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва, оптимізації витрат і забезпечення стабільного прибутку. За даними, отриманими в середньому за 2021–2023 роки, різні підходи до обробітку ґрунту (оранка на глибину 23–25 см та дисковий мілкий обробіток на 10–12 см) і засоби догляду, такі як механізований догляд або застосування сучасних

Таблиця 3

Вплив обробітку ґрунту та гербіцидів на врожайність насіння соняшника, т/га (середнє за 2021–2023 рр.) (Шевченко, 2024)

№	Контроль бур'янів	Прийоми обробітку ґрунту	
		Оранка	Дисковий мілкий
1	Контроль без догляду	2,02	1,56
2	Контроль без бур'янів	3,78	3,47
3	Механізований догляд	2,91	2,63
4	Аспект Про, к.с. у дозі 2,2 л/га + міжрядний обробіток	3,64	3,26
5	Євро-Лайтнінг Плюс, р.к. у дозі 2,0 л/га	3,59	3,18
6	Геліантекс, к.с. у дозі 0,045 л/га + ПАР Віволт	3,62	3,20

НІР₀₅, т/га
для обробітку ґрунту – 0,09–0,11
для контролю бур'янів – 0,10–1,12
для взаємодії – 0,12–0,15

хімічних препаратів, значно впливають на врожайність, виробничі витрати, собівартість зерна, рівень прибутку на 1 га та рентабельність виробництва (табл. 4).

Зокрема, за варіанту використання Аспект Про, к.с. (2,2 л/га) у поєднанні з міжрядним обробітком і оранкою врожайність досягала 3,64 т/га, прибуток на 1 га – 24 869,7 грн, а рівень рентабельності – 163,9%. Для того ж варіанту з дисковим обробітком врожайність була дещо нижчою – 3,26 т/га, прибуток становив 21 000,3 грн, а рентабельність – 141,3%. Застосування гербіциду Євро-Лайтнінг Плюс, р.к. (2,0 л/га) в умовах оранки забезпе-

чило врожайність 3,59 т/га, прибуток 24 435,5 грн і рентабельність 162,3%, а дисковий обробіток показав 3,18 т/га, 20 091 грн та 134,9% відповідно.

Найнижчі показники спостерігалися за контрольного варіанту без догляду, де врожайність за оранки становила 2,02 т/га, прибуток – 8367,7 грн, а рівень рентабельності – лише 60,4%, а для дискового обробітку ці значення становили 1,56 т/га, 3738,1 грн та 27,9%. Застосування механізованого догляду в умовах оранки дозволило підвищити врожайність до 2,91 т/га, отримати прибуток у 17 057,7 грн і досягти рентабельності 114,1%, що свідчить про значну

Таблиця 4

Економічна оцінка агротехнологічних прийомів вирощування насіння соняшника (середнє за 2021–2023 рр.) (Шевченко, 2024)

Технологічна система		Урожайність зерна, т/га	Виробничі витрати на 1 га, грн.	Собівартість 1 т зерна, грн	Прибуток на 1 га, грн	Рівень рентабельності, %
Варіанти догляду за посівами	Основний обробіток ґрунту*					
Контроль без догляду	О	2,02	13852,3	6857,6	8367,7	60,4
	Д	1,56	13421,9	8603,8	3738,1	27,9
Механізований догляд	О	2,91	14952,3	5138,2	17057,7	114,1
	Д	2,63	14621,9	5559,7	14308,1	97,9
Аспект Про, 2,2 л/га + міжрядний обробіток	О	3,64	15170,3	4167,7	24869,7	163,9
	Д	3,26	14859,7	4558,2	21000,3	141,3
Євро-Лайтнінг Плюс, 2,0 л/га	О	3,59	15054,5	4193,5	24435,5	162,3
	Д	3,18	14889,0	4682,1	20091,0	134,9
Геліантекс, 0,045 л/га + ПАР Віволт	О	3,62	15065,1	4161,6	24754,9	164,3
	Д	3,20	14865,1	4645,3	20334,9	136,8

Примітка. *Системи обробітку ґрунту: О – оранка на глибину 23–25 см; Д – дисковий мілкий обробіток на 10–12 см.

економічну ефективність цих заходів. Отже, ефективні агротехнологічні прийоми забезпечують значне зростання економічних показників, що робить їх перспективними для впровадження у сучасному агропромисловому секторі.

Висновки

Проведені дослідження засвідчили, що для підвищення ефективності вирощування соняшника в умовах степової зони України доцільно використовувати комплексний підхід, що включає оптимізацію прийомів основного обробітку ґрунту та застосування сучасних гербіцидів. Оранка на глибину 23–25 см сприяла кращому накопиченню вологи порівняно з мілким дисковим обробітком, забезпечуючи підвищення рівня вологозабезпечення агроценозу.

Встановлено, що застосування гербіцидів Геліантекс, к.с., Євро-Лайтнінг Плюс,

р.к. та Аспект Про, к.с. дозволяє ефективно контролювати забур'яненість посівів, знижуючи щільність бур'янів до 3,6–7,0 шт./м² залежно від типу обробітку ґрунту та зменшувати їх повітряно-суху масу до 6–13 г/м². Це позитивно вплинуло на врожайність соняшника, яка досягала 3,59–3,64 т/га за оранки і 3,18–3,26 т/га за мілкого дискового обробітку.

Найбільш ефективними виявилися різні поєднання агротехнічних і хімічних заходів, що забезпечують комплексну дію на агроєкосистему, оптимізують використання вологоресурсів та мінімізують негативний вплив бур'янів. Отримані результати рекомендуються до впровадження у виробничу практику для підвищення стійкості агроценозів, збереження родючості ґрунтів і забезпечення стабільно високого рівня врожайності соняшника.

Список використаної літератури

- Адаменко Т.І. Кліматичні умови України та можливі наслідки потепління клімату. *Агроном.* 2007. № 1. С. 8–9.
- Гадзало Я.М., Ібатуллін І.І., Лузан Ю.Я. Інституціональне забезпечення функціонування продовольчої системи України в сучасних кризових умовах. *Вісник аграрної науки.* 2022. № 8. С. 5–15. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202208-01>.
- Гангур В.В., Космінський О.О., Лень О.І., Тоцький В.М. Вплив удобрення на продуктивність соняшнику та якість насіння. *Вісник Полтавської державної аграрної академії.* 2022. № 2. С. 50–56. <https://doi.org/10.31210/visnyk2022.02.05>.
- Гордієнко В.П., Геркіял О.М., Опришко В.П. Землеробство. Київ : Вища школа, 1991. 268 с.
- Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві : навчальний посібник / Ушкаренко В.О., Нікішенко В.А., Голобородько С.П., Коковіхін С.В. Херсон : Айлант, 2008. 272 с.
- Жуйков О.Г., Іванів М.О., Ревтьо О.Я., Бурдюг О.О. Агротехнологічні аспекти механічного захисту рослин від бур'янів за біологізації технології вирощування соняшнику. *Аграрні інновації.* 2021. № 5. С. 35–40. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.5.6>.
- Іващенко О.О. Вовчок у посівах соняшнику та методи контролю. *Карантин і захист рослин.* 2020. № 2/3. С. 13–16. <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2020.2-3.13-16>.
- Лебідь Є.М. Науковий фундамент проблем степового землеробства. *Вісник аграрної науки.* 2006. № 3–4. С. 23–25.
- Мазур В.А., Липовий В.Г., Мордванюк М.О. Методика наукових досліджень в агрономії : навчальний посібник. Вінниця : ВЦ ТОВ «ТВОРИ», 2020. 204 с.
- Шевченко М.С., Шевченко О.М., Швець Н.В. Агродинаміка вологоспоживання залежно від технологічних факторів землеробства степової зони. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України.* 2013. № 5. 130–134.
- Шевченко С.М. Еколого-біологічні засади землеробства в умовах природно-техногенних комплексів степової зони України : дис. ... д-ра с.-г. наук : 06.01.01. Дніпро, 2024. 491 с.
- Achankeng E., Cornelis W. Conservation tillage effects on European crop yields: A meta-analysis. *Field Crops Research.* 2023. Vol. 298. № 3. P. 108967. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.108967>.
- Busar M.A., Kukal, S.S., Kaur A., Bhatt R., Dulazi A.A. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International soil and water conservation research.* 2015. Vol. 3. № 2. P. 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.05.002>.
- Kaminskyi V., Bulgakov V., Tkachenko M., Kolomiets M., Kaminska V., Ptashnik M., Kiernicki, Z.. Research into Comparative Performance of Different Tillage and Fertilization Systems Applied to Grey Forest Soil of Forest Steppe in Grain Crop Rotation. *Journal of Ecological Engineering.* 2022. Vol. 23. № 12. P. 163–178. <https://doi.org/10.12911/22998993/155057>.

References

- Adamenko, T.I. (2007). Klimatychni umovy Ukrainy ta mozhyvi naslidky poteplinnia klimatu [Climatic conditions of Ukraine and possible consequences of climate warming]. *Agronomist [Ahronom]*, 1, 8–9 [in Ukrainian].
- Gadzalo, Y.M., Ibatullin, I.I., & Luzan, Y.Y. (2022). Instytutsionalne zabezpechennia funktsionuvannia prodovolchoi systemy Ukrainy v suchasnykh kryzovykh umovakh. [Institutional support for the functioning of Ukraine's food system under modern crisis conditions]. *Visnyk ahraryoi nauky [Bulletin of Agricultural Science]*, 8, 5–15. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202208-01> [in Ukrainian].
- Hangur, V.V., Kosminskyi, O.O., Len, O.I., & Totskyi, V.M. (2022). Vplyv udobrennia na produktyvnist sonyashnyku ta yakist nasinnia. [Influence of fertilization on sunflower productivity and seed quality]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahraryoi akademii [Bulletin of Poltava State Agrarian Academy]*, 2, 50–56. <https://doi.org/10.31210/visnyk2022.02.05> [in Ukrainian].
- Hordiienko, V.P., Herkial, O.M., & Opryshko, V.P. (1991). Zemlerobstvo [Agriculture]. Kyiv : Higher School, 268 p. [in Ukrainian].
- Ushkarenko, V.O., Nikishenko, V.L., Holoborodko, S.P., & Kokovikhin, S.V. (2008). Dyspersiyni i koreliatsiyni analiz u zemlerobstvi ta roslynnytstvi: navch. Posib [Dispersion and Correlation Analysis in Agriculture and Crop Production: A Study Guide]. Kherson : Ailant. 272 p. [in Ukrainian].
- Zhuikov, O.H., Ivaniv, M.O., Revto, O.Ya., & Burdyuh, O.O. (2021). Ahrotekhnolohichni aspekty mekhanichnoho zakhystu roslyn vid bur'ianiv za biolohizatsii tekhnolohii vyroshchuvannia sonyashnyku [Agrotechnological aspects of mechanical plant protection against weeds under biologization of sunflower cultivation technology]. *Ahraryi innovatsii [Agrarian Innovations]*, 5, 35–40. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.5.6> [in Ukrainian].
- Ivashchenko, O.O. (2020). Vovchok u posivakh sonyashnyku ta metody kontroliu. [Broomrape in sunflower crops and control methods]. *Karantyn i zakhyst roslyn [Quarantine and Plant Protection]*, 2/3, 13–16. <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2020.2-3.13-16> [in Ukrainian].
- Lebid, E.M. (2006). Naukovyi fundament problem stepovoho zemlerobstva [Scientific foundation of steppe farming problems]. *Visnyk ahraryoi nauky [Bulletin of Agricultural Science]*, 3–4, 23–25 [in Ukrainian].
- Mazur, V.A., Lypovyi, V.H., & Mordvanyuk, M.O. (2020). Metodyka naukovykh doslidzhen v ahronomii: navchalnyi posibnyk [Methodology of Scientific Research in Agronomy: A Study Guide]. Vinnytsia : VC LLC "TVORY,". 204 p. [in Ukrainian].
- Shevchenko, M.S., Shevchenko, O.M., & Shvets, N.V. (2013.) Ahrodynamika volohospozhyvannia zalezho vid tekhnolohichnykh faktoriv zemlerobstva stepovoi zony [Agrodynamics of moisture consumption depending on technological factors in farming of the steppe zone]. *Biuletyn Instytutu silskoho hospodarstva stepovoi zony NAAN Ukrainy [Bulletin of the Institute of Agriculture of the Steppe Zone of the NAAS of Ukraine]*, 5, 130–134 [in Ukrainian].
- Shevchenko, S.M. (2024). Ekoloho-biolohichni zasady zemlerobstva v umovakh pryrodno-tekhnolohichnykh kompleksiv stepovoi zony Ukrainy [Ecological and biological principles of agriculture in the conditions of natural and technogenic complexes of the steppe zone of Ukraine]. *Doctor's thesis*. Dnipro, 491 p. [in Ukrainian].
- Achankeng, E., & Cornelis, W. (2023.) Conservation tillage effects on European crop yields: A meta-analysis. *Field Crops Research*, 298 (3), 108967. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.108967> [in English].
- Busar, M.A., Kukal, S.S., Kaur, A., Bhatt, R., & Dulazi, A.A. (2015). Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International soil and water conservation research*, 3 (2), 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.05.002> [in English].
- Kaminskyi, V., Bulgakov, V., Tkachenko, M., Kolomiets, M., Kaminska, V., Ptashnik M., & Kiernicki, Z. (2022). Research into Comparative Performance of Different Tillage and Fertilization Systems Applied to Grey Forest Soil of Forest Steppe in Grain Crop Rotation. *Journal of Ecological Engineering*, 23 (12), 163–178. <https://doi.org/10.12911/22998993/155057> [in English].

Отримано: 10.01.2025

Прийнято: 29.01.2025



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 11
Український журнал природничих наук
№ 11

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

ЕКОЛОГІЯ, РАЦІОНАЛЬНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

UDC 504.054

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.27>

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF OIL PRODUCTS ON THE DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL PLANTS

T. O. Bondar¹, A. S. Bosiuk², D. I. Nechyporenko³, V. E. Lifer⁴, I. V. Melnyk⁵

The study focuses on the pressing environmental challenge of oil pollution and its detrimental effects on agroecosystems, which play a pivotal role in global food security. With the growing demands of modern sustainable development, industrial and transportation systems are faced with the dual challenge of achieving economic progress while minimizing ecological harm. Among the most significant concerns is the contamination caused by petroleum products, which profoundly affects soil quality, plant health, and overall ecosystem stability. The article explores the toxic mechanisms of hydrocarbons on plant development, particularly their impacts on seed germination, root elongation, and photosynthetic processes, which are essential for growth and productivity. It has been found that even low concentrations of oil products (1–3.0 mg/kg) have a toxic effect on seed germination, root development, and physiological processes such as photosynthesis. It was found that the acidity of the soil varies depending on the degree of oil contamination. In sample № 1, the pH = 6 indicates a rather acidic and toxic soil with iron, aluminum and manganese, which limits the yield to 50%. In sample № 2,

¹ student

(Municipal Institution «Kharkiv Gymnasium № 145 Kharkiv City Council», Kharkiv)

e-mail: tetanabondar@gmail.com

ORCID: 0009-0007-9443-8175

² PhD, Senior Lecture at the Department of Chemical Engineering and Industrial Ecology

(National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv)

e-mail: Alona.Bosiuk@mit.khpi.edu.ua

ORCID: 0000-0001-5254-2272

³ PhD, Associate Professor at the Department of Chemical Engineering and Industrial Ecology

(National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv)

e-mail: dmytro.nechyporenko@khpi.edu.ua

ORCID: 0000-0002-5570-1061

⁴ Postgraduate Student at the Department of Chemical Engineering and Industrial Ecology

(National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv)

e-mail: valentyn.y.lifer@mit.khpi.edu.ua

ORCID: 0009-0002-4066-4023

⁵ Postgraduate Student at the Department of Chemical Engineering and Industrial Ecology

(National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv)

e-mail: ivan.melnyk@mit.khpi.edu.ua

ORCID: 0009-0002-1680-2318

the pH = 6.4 indicates satisfactory soil acidity. Laboratory tests confirm that natural decomposition and leaching of oil products occurred in the contaminated soil within 6 months, indicating that the soil has begun to cleanse itself through natural mechanisms. By addressing the intersection of environmental sustainability, industrial activity, and agricultural productivity, this research offers valuable insights for agricultural practitioners. The scientific novelty of the study lies in a comprehensive analysis of the impact of petroleum products on the growth and development of agricultural plants, taking into account both the initial and long-term effects. The mechanisms of toxic effects of hydrocarbons on plant physiological processes are studied in detail. Particular attention is paid to the identification of pollution-resistant plant species that can serve as bioindicators or be used for phytoremediation of contaminated areas.

Key words: oil products, sustainable development, environment, soil pollution, agroecosystems, agricultural plants.

ОЦІНКА ВПЛИВУ НАФТОПРОДУКТІВ НА РОЗВИТОК СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ РОСЛИН

Т. О. Бондар, А. С. Босюк, Д. І. Нечипоренко, В. Є. Ліфер, І. В. Мельник

Дослідження зосереджено на загальній екологічній проблемі забруднення нафтопродуктами та її негативному впливі на агроєкосистеми, які відіграють ключову роль у глобальній продовольчій безпеці. З огляду на зростаючі вимоги сучасного сталого розвитку промислові та транспортні системи стикаються з подвійним викликом: досягнення економічного прогресу за мінімізації екологічної шкоди. Серед найбільш значущих проблем – забруднення, спричинене нафтопродуктами, яке глибоко впливає на якість ґрунту, здоров'я рослин і загальну стабільність екосистеми. У статті досліджуються токсичні механізми впливу вуглеводнів на розвиток рослин, зокрема їхній вплив на проростання насіння, довжину коренів і фотосинтетичні процеси, які є важливими для росту та продуктивності. З'ясовано, що навіть низькі концентрації нафтопродуктів (1–3,0 мг/кг) спричиняють токсичний вплив на проростання насіння, розвиток кореневої системи та фізіологічні процеси, зокрема фотосинтез. Встановлено, що кислотність ґрунту змінюється залежно від ступеня забруднення нафтопродуктами.

У зразку № 1 кислотність рН = 6 свідчить про досить кислий і токсичний ґрунт із вмістом заліза, алюмінію та марганцю, що обмежує врожайність до 50%. У зразку № 2 рН = 6,4 вказує на задовільну кислотність ґрунту. Лабораторні дослідження підтверджують, що протягом 6 місяців у забрудненому ґрунті відбувалося природне розкладання та вимивання нафтопродуктів, що свідчить про початок процесу самоочищення ґрунту через природні механізми. Вивчаючи взаємозв'язок між екологічною стійкістю, промисловою діяльністю та продуктивністю сільського господарства, це дослідження пропонує цінну інформацію для практиків сільського господарства.

Наукова новизна дослідження полягає у комплексному аналізі впливу нафтопродуктів на ріст і розвиток сільськогосподарських рослин з урахуванням як початкових, так і віддалених наслідків. Детально вивчено механізми токсичної дії вуглеводнів на фізіологічні процеси рослин. Особливу увагу приділено виявленню стійких до забруднення видів рослин, які можуть слугувати біоіндикаторами або використовуватися для фіторе mediaції забруднених територій.

Ключові слова: нафтопродукти, сталий розвиток, довкілля, забруднення ґрунтів, агроєкосистеми, сільськогосподарські рослини.

Introduction

The relevance of the topic of studying the phytotoxic effect of oil products on agricultural plants has increased significantly due to the war in Ukraine. Due to military operations, there is massive soil pollution with oil products as a result of damage to infrastructure, military equipment and fuel depots, which creates an additional burden on the agricultural sector and threatens food security. Toxic contamination of soil and water

resources negatively affects land fertility, biodiversity, and the quality of the products grown (Bondar et al., 2024b). Toxic oil pollution can cause phytotoxic effects in agricultural crops, which are manifested by slower seed germination, stunted growth, developmental disorders, and even plant death. This leads to the formation of secondary plant communities, which reduces the productivity of agricultural land. In turn, such changes have a negative impact on food security and

economic stability in the region (Bondar & Vedenina, 2024a).

The study aims to evaluate the phytotoxic effects of oil products on agricultural plants using modern research methods, including phytotesting and laboratory analysis of the physical and chemical properties of contaminated soils. The research focuses on analyzing the impact of oil contamination on soil properties, plant growth, and development, identifying methods for assessing phytotoxicity, and determining the resilience or sensitivity of various crops to such contamination. The study also examines soil remediation potential and highlights the importance of addressing oil pollution to protect agricultural ecosystems.

Physicochemical analysis allows us to determine the concentrations of major pollutants and to develop maps of land degradation and pollution. Bacterial decomposition of oil causes an increase in pH by 26%. Hydraulic permeability decreases by 46–67%, which is caused by blocking of micropores by oily products. A correlation between soil pH and soil nitrogen has been established: a higher pH value corresponds to a higher level of nitrogen in the contaminated soil (Essien & John, 2011).

The contamination of soil by petroleum-derived substances results in far-reaching physical, chemical, and biological changes that are most clearly visible in the health status of plants (Wyszkowski & Ziolkowska, 2008). Very often the contaminants contribute to alterations in the content of macro- and microelements in plant organs (Wyszkowski & Ziolkowska, 2009), and also modify the content of heavy metals. Heavy metals (trace elements) play a significant role in metabolic processes in all living organisms. Some of them are essential for the normal growth and development of plants (copper, cobalt, nickel, zinc,

chromium, and manganese) because they take part in many enzymatic reactions. However, among trace elements there are heavy metals such as cadmium, lead, and mercury, which may be toxic to cultivated plants even in low concentrations (Nagajyoti et al., 2010).

An analysis of key studies and publications shows that the environmental consequences of oil pollution depend on three groups of factors: pollution parameters, soil properties, and environmental characteristics (Baek et al., 2004; Brandão et al., 2011; Cruz et al., 2013). The issue of scientific research on how man-made impacts and chemicals affect agrophytocenoses, in particular, the interaction between soil and plants, remains relevant (Dybzinski et al., 2008; Taranenko et al., 2019).

Materials and methods

The control soil was used, which did not contain oil products and whose physical and chemical characteristics are similar to those of the experimental site. Two types of soil samples were used in the study: oil-contaminated and control. At the first stage of the study of the phytotoxic effect of oil products on agricultural plants, various species of monocotyledonous and dicotyledonous plants were selected: sweet corn (*Dulcis frumentum*), nutmeg pumpkin (*Nutmeg cucurbita*), asparagus beans (*Vicia faba* L.), Red Coral lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *Longifolia*), and Senator lettuce (*Lactuca sativa* var. *Foliosa*). The initial process of the experimental study (Fig. 1). At the same stage, contaminated soil was prepared for the experiment, which was taken at the site of the oil spill in Kharkiv after a drone strike. The destruction of industrial facilities and infrastructure caused by shelling leads to fires, which become an additional source of soil and water pollution, worsening the environmental situation in the region (Mandryk & Lukynchuk, 2023).



Fig. 1. Control soil and agricultural plants for the experimental test

The phytotesting method was used to conduct this study. It should be noted that the phytotesting method is a type of biotesting to determine the phytotoxic effect on plants and to determine soil toxicity. It is based on the position that soils can be considered an integral indicator of soil ecosystem pollution. The process of phytotesting to assess the toxic effect on plants included several stages. The first stage was the selection and preparation of contaminated and control soil samples, and the selection of plants for testing.

The next stage of phytotesting was sowing and growing plants in contaminated and controlled soil. Agricultural plants were placed in controlled conditions (temperature, humidity, lighting) that are optimal for the growth of selected plant species. After that, we measured plant growth indicators such as root length, stem height, and number of leaves. The research process was recorded using photography to visually assess (Fig. 2) and document the condition of the plants.

Each type was studied in three parallel replications to increase the reliability of the results. The experimental and control samples were studied under identical conditions (temperature, humidity, lighting), which excludes the influence of additional factors. The study was carried out in accordance with the standards governing the study of soils and petroleum product toxicity.

The data were processed using statistical methods to determine the differences between control and experimental samples. The average values of biometric parameters for control and contaminated samples were compared. Based on the data obtained, conclusions were drawn about the level of soil phytotoxicity. Thus, the phytotesting method made it possible to determine the impact of toxic substances on plants and assess potential risks to the ecosystem. Data for each parameter were calculated as

the arithmetic mean of three replications. The tables with the results of the study (Table 1 and Table 2) show statistical indicators for each parameter. MS Excel software was used for data processing.

For each plant species, three independent replications were conducted to measure germination parameters root length (cm), and shoot length (cm). Each replication included 10 seeds planted separately on control and contaminated soils. At the end of the experimental period, the above parameters were measured for each replication. The average values were calculated as the arithmetic mean of three replications, and the standard deviation was calculated to assess the variability of the data. The tables summarize the average results for each plant species, which allows us to assess the impact of soil pollution on their growth and development.

Results

The study of soil phytotoxicity to plants was conducted using the phytotesting method. This method is based on the reaction of test cultures to the presence of pollutants in the soil. The method allows to identify the toxic effect of oil products on the development of test crops. During the experiment, germination, shoot and root length were measured. Seed development and germination were evaluated according to the standard methods (DSTU ISO 11269-1:2004, DSTU ISO 1269-2:2002).

On day 35, full phytotesting indicators were obtained – germination, shoot and root length for selected agricultural plants planted in contaminated and control soil. Thus, the data obtained are presented in Table 1 and in Table 2. Tables present the average data for each parameter obtained in the study. Each indicator was calculated as the arithmetic mean of three replications.

Further, to determine the phytotoxic effect of the impact of oil products in the soil on the



Fig. 2. Germination of asparagus beans (*Vicia faba* L.) and nutmeg (Nutmeg cucurbita)

Table 1

Averages of test reaction indicators for agricultural plants (control soil)

Plant	Sprouting, units	L of the root, cm	L of the shoot, cm
Senator lettuce	37	4	9
Lettuce "Red coral"	42	5	7
Butternut squash (Nutmeg cucurbita)	9	10	23
Sweet corn (Dulcis frumentum)	8	11	23
Asparagus bean (Vicia faba L.)	12	11	22

Table 2

Averages of test reaction indicators for agricultural plants (polluted soil)

Plant	Sprouting, units	L of the root, cm	L of the shoot, cm
Senator lettuce	15	2,5	7
Lettuce "Red coral"	0	-	-
Butternut squash (Nutmeg cucurbita)	4	9	15
Sweet corn (Dulcis frumentum)	3	9	17
Asparagus bean (Vicia faba L.)	7	7	19

germination of agricultural plants by phytotesting in percentage equivalent (%), we use the data from Tables 2 and 3 and the following formulas:

$$PE = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \cdot 100, \quad (1)$$

where L_0 is the length of the root (shoot) in the control, cm;

L_1 is the length of the root (shoot) in the contaminated one, cm.

$$PE = \frac{B_0 - B_1}{B_0} \cdot 100, \quad (2)$$

where B_0 – sprouting in the control soil, units; B_1 – sprouting in the contaminated soil, units.

The results of calculations of the phytotoxic effect on agricultural plants using the above formulas are shown in Table 3.

According to visual observations and calculations to determine the phytotoxic effect

on agricultural plants, we have the following results (Fig. 3):

1. Senator lettuce has a phytotoxic effect on germination of 59,4% and a phytotoxic effect on root length of 59,4%. This indicates a level of above average soil toxicity.

2. The Red Coral lettuce had a 100% phytotoxic effect on germination and a 100% phytotoxic effect on root length, indicating the maximum toxicity effect on the plant. The lettuce germinated but later died in the contaminated soil. However, it germinated and developed in the control soil.

3. Nutmeg cucurbita has a phytotoxic effect on germination of 55,5% – the level of toxicity is higher than average, the effect of phytotoxic effect on root length is 80,0%. Thus, the phytotoxic effect on the plant is high.

4. Sweet corn (Dulcis frumentum) – has a phytotoxic effect on germination of 62,5% and the effect of phytotoxic effect on root length

Table 3

Results of determining the phytotoxic effect on agricultural plants (contaminated soil)

Plant	Influence of phytotoxic effect on sprouting, %	Influence of phytotoxic effect on root length, %	Influence of phytotoxic effect on shoot length, %
Senator lettuce	59,4	58,5	68,7
Lettuce "Red coral"	100	100	100
Butternut squash (Nutmeg cucurbita)	55,5	80,0	42,2
Sweet corn (Dulcis frumentum)	62,5	70,8	50,9
Asparagus bean (Vicia faba L.)	41,6	52,6	64,3

reaches 70,8% – this is also a high level of toxicity.

5. Asparagus bean (*Vicia faba* L.) – has a phytotoxic effect on germination of 41,6% and the effect of phytotoxic effect on root length reaches 52,6%, which indicates an above-average level of toxicity.

An important property of the environment is its ability to self-purify, which is a key factor in the processes of natural ecosystem restoration. In our study, we used the method of microscopy of the surface layer of the water extracted soil to assess the ability of soils to self-purify from oil contamination. For this purpose, in August 2024, soil samples were re-collected from the site with an oil leak in Kharkiv. A previous sample of contaminated soil was taken at the same site in April 2024 to compare changes in soil condition between the sample collections.

The microscopy of the surface layer of the water extract of the soil revealed a significant amount of oil products in sample № 1: oil droplets and hydrocarbon (carbon) particles (Fig. 4a). The soil has a characteristic odor of

petroleum products. In addition, during the study, when the soil was placed in a laboratory bowl and filled with distilled water, a clear dark-colored lubricating film formed over time, covering the entire surface of the bowl (a visual representation of the study is shown in Fig. 4b). This phenomenon also indicates a high content of oil products in sample № 1, which is confirmed by the visual images (Fig. 4a).

Instead, the microscopy of the surface layer of the water extract of the soil in sample № 2 revealed a smaller number of oil droplets and hydrocarbon particles (carbon) (Fig. 5). The size of these particles has decreased, and small clay particles were also observed. However, the soil still has a characteristic odor of petroleum products, and the color has remained unchanged, indicating that the soil has been partially, but not completely, cleaned of contaminants.

Having obtained both results of microscopy of the surface layer of the water extract of the soil, the acidity (pH) of the soil in samples № 1 and № 2 was additionally determined in the laboratory. The data obtained are shown in Table 4.

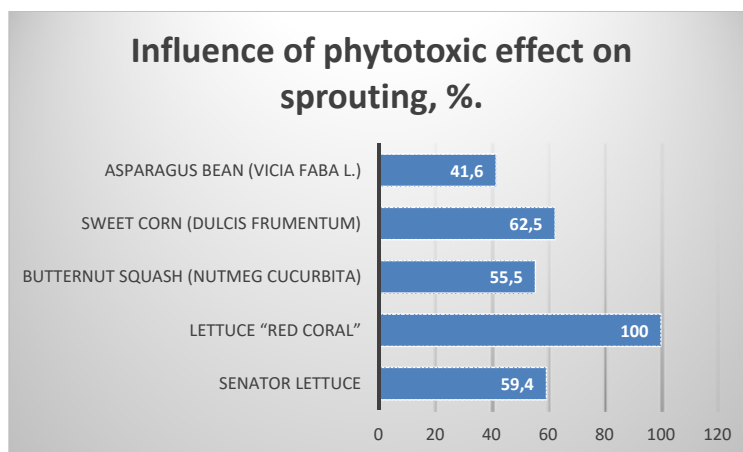


Fig. 3. Results of visual observations and calculations to determine the phytotoxic effect on agricultural plants



Fig. 4. Investigation of contaminated soil:
a – microscopy of the surface layer of the water extract of contaminated soil. Sample № 1; b – a bowl with a mixture of soil sample № 1 and distilled water

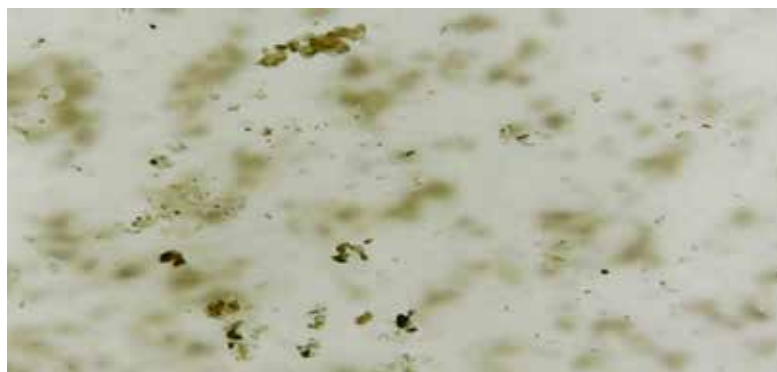


Fig. 5. Microscopy of the surface layer of the water extract of contaminated soil. Sample № 2

Table 4

Determination of soil pH by the potentiometric method of water extraction

Sample number (№)	Water extraction solution	pH
№ 1 (April 2024)	pH of the water extract (20 g of soil + 100 ml of distilled water)	pH = 6
№ 2 (August 2024)	pH of the water extract (20 g of soil + 100 ml of distilled water)	pH = 6,4

Based on the results of the study (Table 4), sample № 1 has an acidity of pH = 6. This indicates a rather acidic and toxic soil and the presence of iron, aluminum, and manganese in it. It is believed that the composition of such soil gives a yield of 50%. In sample № 2, pH = 6.4, the soil acidity is considered satisfactory. Thus, based on the results of both laboratory tests, it can be stated that natural decomposition and leaching of oil products from the contaminated soil occurred over 6 months. This indicates a certain process of self-cleaning of the soil through natural mechanisms of reducing the concentration of oil products, although complete cleanup has not yet been achieved.

Discussion

When oil products enter the geological environment in a liquid state, they migrate as a non-miscible substance with water, creating a distinct phase within the soil. In cases where the quantity of oil products does not exceed the soil's retention capacity, they remain within the aeration zone, and further migration can occur through dissolution in infiltration water. This process is influenced by factors such as soil permeability, the viscosity of the oil products, and the volume of precipitation that facilitates water infiltration. As the oil dissolves into the infiltrating water, it may spread horizontally through the soil profile, potentially affecting a larger area.

However, if the inflow of oil products surpasses the soil's retention capacity, they are able to penetrate deeper into the ground, reaching the groundwater aquifer. This results in the formation of an oil product lens on the surface of the groundwater. The presence of such a lens can lead to significant contamination of the water source, as oil products are not easily biodegraded and can persist for extended periods. The thickness of this lens and its potential spread depend on several factors, including the type of oil product, the depth and permeability of the aquifer, and the rate of groundwater flow.

The migration of oil products through the soil and into groundwater is a significant environmental concern, as it can lead to the contamination of drinking water supplies, disrupt local ecosystems, and create long-term environmental challenges. Moreover, the interaction between oil products and soil microorganisms can influence the rate of biodegradation and, consequently, the persistence of contaminants in the environment.

Conclusions

The article examines the effects of petroleum products on soil, revealing that oil contamination disrupts the soil's air regime and alters its water properties. Methods for studying phytotoxic effects are described, including phytotesting to assess soil toxicity, along with laboratory techniques such as microscopy of

the surface layer of water extracts from contaminated soil and pH measurement of soil using the potentiometric method.

The study uncovered the phytotoxic impact of petroleum products on agricultural plants, showing that all plants in contaminated soil experienced medium to high levels of toxicity, which adversely affected their development. Lettuce "Red Coral" and sweet corn (*Dulcis frumentum*) were found to be the least resistant to the toxic effects, while asparagus beans (*Vicia*

faba L.) exhibited the highest tolerance. Plants grown in control soil demonstrated superior germination rates and overall development.

Microscopy of the water extract's surface layer from contaminated soil samples (collected in April and August 2024) and pH-metry of soil extracts were performed. Laboratory results indicated that, initially, the soil was acidic and toxic, containing heavy metals and oils. These conditions suggest a potential crop yield reduction to no more than 50%.

Bibliography

Бондар Т.О., Веденіна М. Екологічні проблеми під час війни в Україні: вплив нафтопродуктів на сільськогосподарські рослини. *Modern information technologies in education and science* : збірник матеріалів. The XXX International Scientific and Practical Conference. Prague, 2024. С. 7–9.

Бондар Т.О., Веденіна М.В., Шестопапов О.В. Фітотоксичний ефект нафтопродуктів на сільськогосподарські рослини: експериментальне дослідження. *Research of young scientists: from idea generation to project implementation* : збірник матеріалів. Abstracts of IX International Scientific and Practical Conference. Lyon, 2024. С. 11–14.

Колеснікова Л.А., Галицька М.А., Піщаленко М.А., Бараболя О.В., Чубук Д.І., Литвишко О.А. Реакція сільськогосподарських рослин на забруднення ґрунту нафтою. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 4. С. 100–107. <https://doi.org/10.31210/visnyk2019.04.12>

Мандрик О.М., Лукинчук О.І. Удосконалення способу очищення ґрунту забрудненого нафтопродуктами. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2023. № 1 (103). С. 273–281. <https://doi.org/10.32782/2415-8240-2023-103-1-273-281>.

ДСТУ ISO 11269-1:2004 Якість ґрунту. Визначення дії забрудників на флору ґрунту. Частина 1. Метод визначання інгібіторної дії на ріст коренів. [Чинний від 2004-04-30]. Вид. офіц. Київ, 2005. 23 с. (Інформація та документація).

ДСТУ ISO 11269-2:2002 Якість ґрунту. Визначання дії забруднювачів на флору ґрунту. Частина 2. Вплив хімічних речовин на проростання та ріст вищих рослин. [Чинний від 2002-07-12]. Вид. офіц. Київ, 2004. 22 с. (Інформація та документація).

Baek K.H., Kim H.S., Oh H.M., Yoon B.D., Kim J., Lee, I.S. Effects of Crude Oil, Oil Components, and Bioremediation on Plant Growth. *Journal of Environmental Science and Health*. 2004. Part A. Vol. 39. № 9. P. 2465–2472. <https://doi.org/10.1081/ese-200026309>.

Brandão M., Milà i Canals L., Clift, R. Soil organic carbon changes in the cultivation of energy crops: Implications for GHG balances and soil quality for use in LCA. *Biomass and Bioenergy*. 2011. Vol. 35. № 6. P. 2323–2336. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.10.019>.

Cruz J.M., Lopes P.R.M., Montagnoli R.N., Tamada I.S., Silva N.M.M.G., Bidoia E.D. Phytotoxicity of Soil Contaminated with Petroleum Derivatives and Biodiesel. *Ecotoxicology and Environmental Contamination*. 2013. Vol. 8. № 1. P. 49–54. <https://doi.org/10.5132/eec.2013.01.007>.

Dybzinski R., Fargione J.E., Zak D.R., Fornara D., Tilman D. Soil fertility increases with plant species diversity in a long-term biodiversity experiment. *Oecologia*. 2008. Vol. 158. № 1. P. 85–93. <https://doi.org/10.1007/s00442-008-1123-x>.

Essien O., John I. Impact of Crude-Oil Spillage Pollution and Chemical Remediation on Agricultural Soil Properties and Crop Growth. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. 2011. Vol. 14. № 4. P. 147–154. <https://doi.org/10.4314/jasem.v14i4.63304>.

Nagajyoti P.C., Lee K.D., Sreekanth T.V.M. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 2010. Vol. 8. № 3. P. 199–216. <https://doi.org/10.1007/s10311-010-0297-8>.

Taranenko A., Kulyk M., Galytska M., Taranenko S. Effect of cultivation technology on switchgrass (*Panicum virgatum* L.) productivity in marginal lands in Ukraine. *Acta Agrobotanica*. 2019. Vol. 72. № 3. P. 1786–1801. <https://doi.org/10.5586/aa.1786>.

Wyszkowski M., Ziolkowska A. Effect of petrol and diesel oil on content of organic carbon and mineral components in soil. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*. 2008. Vol. 2. № 1. P. 54–60.

Wyszkowski M., Ziolkowska A. Effect of compost, bentonite and calcium oxide on content of some macroelements in plants from soil contaminated by petrol and diesel oil. *Journal of Elementology*. 2009. Vol. 2. P. 405–418. <https://doi.org/10.5601/jelem.2009.14.2.21>.

References

Bondar, T.O., & Vedenina, M.V. (2024a). Ekologichni problemy pid chas viyny v Ukrayini: vplyv naftoproduktiv na silskohospodarski roslyny [Environmental problems during the war in Ukraine: the impact of oil products on agricultural plants]. *Modern information technologies in education and science: The XXX International Scientific and Practical Conference*. Czech Republic, 7–9 [in Ukrainian].

Bondar, T.O., Vedenina, M.V., & Shestopalov, O.V. (2024b). Fitotoksychnyi efekt naftoproduktiv na silskohospodarski roslyny: eksperymentalne doslidzhennia [Phytotoxic effect of oil products on agricultural plants: an experimental study]. *Research of young scientists: from idea generation to project implementation: Abstracts of IX International Scientific and Practical Conference*. France, 11–14 [in Ukrainian].

Kolesnikova, L.A., Galytska, M.A., Pischalenko, M.A., Barabolia, O.V., Chubuk, D.I., & Litvishko, O.A. (2019). Reaktsiya silskogospodarskykh roslyn na zabrudnennia grunty naftoyu [Reaction of crops on soil pollution with oil]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy]*, 4, 100–107. <https://doi.org/10.31210/visnyk2019.04.12> [in Ukrainian].

Mandryk, O.M., & Lukynchuk, O.I. (2023). Udoskonalennia sposobu ochyshchennia grunty zabpydnenogo naftoproduktamy. [Improving method of cleaning soil contaminated by petroleum products]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva. [Collected Works of Uman National University of Horticulture]*, 1 (103), 273–281. <https://doi.org/10.32782/2415-8240-2023-103-1-273-281> [in Ukrainian].

DSTU ISO 11269-1:2004 Yakist hruntu. Vyznachennia diyi zabrudnykiv na floru hruntu. Chastyna 1. Metod vyznachannia inhibitornoi diyi na rist koreniv. [Chynnyy vid 2004-04-30]. Vud. ofits. Kyiv, 2005. 23 s. (Informatsiya ta dokumentatsiya) [DSTU ISO 11269-1:2004 Soil quality. Determination of the effect of pollutants on soil flora. Part 1: Method for determination of inhibitory effect on root growth. [Valid from 2004-04-30]. Published by the official. Kyiv, 2005. 23 p. (Information and documentation)] [in Ukrainian].

DSTU ISO 11269-2:2002 Yakist hruntu. Vyznachennia diyi zabrudnyuchiv na floru hruntu. Chastyna 2. Vplyv khimichnykh rehovyn na prorostannia ta rist vyshchykh roslyn. [Chynnyy vid 2002-07-12] Vud. ofits. Kyiv, 2004. 22 s. (Informatsiya ta dokumentatsiya) [DSTU ISO 11269-2:2002 Soil quality. Determination of the effect of pollutants on soil flora. Part 2. Effect of chemicals on germination and growth of higher plants. [Valid from 2002-07-12]. Published by the official. Kyiv, 2004. 22 p. (Information and documentation)] [in Ukrainian].

Baek, K.-H., Kim, H.-S., Oh, H.-M., Yoon, B.-D., Kim, J., & Lee, I.-S. (2004). Effects of Crude Oil, Oil Components, and Bioremediation on Plant Growth. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 39 (9), 2465–2472. <https://doi.org/10.1081/ese-200026309> [in English].

Brandão, M., Milã i Canals, L., & Clift, R. (2011). Soil organic carbon changes in the cultivation of energy crops: Implications for GHG balances and soil quality for use in LCA. *Biomass and Bioenergy*, 35 (6), 2323–2336. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.10.019> [in English].

Cruz, J.M., Lopes, P.R.M., Montagnolli, R.N., Tamada, I.S., Silva, N.M.M. G., & Bidoia, E.D. (2013). Phytotoxicity of Soil Contaminated with Petroleum Derivatives and Biodiesel. *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, 8 (1), 49–54. <https://doi.org/10.5132/eec.2013.01.007> [in English].

Dybzinski, R., Fargione, J.E., Zak, D.R., Fornara, D., & Tilman, D. (2008). Soil fertility increases with plant species diversity in a long-term biodiversity experiment. *Oecologia*, 158 (1), 85–93. <https://doi.org/10.1007/s00442-008-1123-x> [in English].

Essien, O., & John, I. (2011). Impact of Crude-Oil Spillage Pollution and Chemical Remediation on Agricultural Soil Properties and Crop Growth. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 14 (4), 147–154. <https://doi.org/10.4314/jasem.v14i4.63304> [in English].

Nagajyoti, P.C., Lee, K.D., & Sreekanth, T.V.M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 8 (3), 199–216. <https://doi.org/10.1007/s10311-010-0297-8> [in English].

Taranenko, A., Kulyk, M., Galytska, M., & Taranenko, S. (2019). Effect of cultivation technology on switchgrass (*Panicum virgatum* L.) productivity in marginal lands in Ukraine. *Acta Agrobotanica*, 72 (3), 1786–1801. <https://doi.org/10.5586/aa.1786> [in English].

Wyszkowski, M., & Ziółkowska, A. (2008). Effect of petrol and diesel oil on content of organic carbon and mineral components in soil. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 2 (1), 54–60 [in English].

Wyszkowski, M., & Ziółkowska, A. (2009). Effect of compost, bentonite and calcium oxide on content of some macroelements in plants from soil contaminated by petrol and diesel oil. *Journal of Elementology*, 14 (2), 405–418. <https://doi.org/10.5601/jelem.2009.14.2.21> [in English].

Отримано: 25.01.2025

Прийнято: 10.02.2025



УДК 66.017:504.06:628.4

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.28>

СТАЛИЙ РОЗВИТОК ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ЧЕРЕЗ ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ

О. М. Василенко¹

Сучасна хімічна промисловість стикається з низкою викликів, серед яких ключовими є підвищення ефективності використання ресурсів, мінімізація утворення відходів і впровадження технологій їх переробки. У контексті інтеграції України до європейського економічного простору набуває актуальності реалізація принципів сталого розвитку та циркулярної економіки, що відповідає міжнародним стандартам і екологічним вимогам.

Метою цього дослідження було визначення ефективності впровадження технологій переробки відходів у виробничі процеси підприємств хімічної галузі. Особливу увагу приділено аналізу економічних та екологічних переваг використання вторинної сировини, а також оцінці можливостей її інтеграції у виробничі цикли.

Методологія дослідження базувалася на використанні кількісного аналізу, порівняльного підходу та системного аналізу. Під час роботи було оцінено динаміку утворення відходів, ефективність їх утилізації, рентабельність використання вторинної сировини й економічну вигоду впровадження рішень. Репрезентативність використаних даних забезпечила надійність висновків і можливість адаптації результатів для інших підприємств галузі.

Результати дослідження продемонстрували, що впровадження інноваційних підходів до управління відходами дало змогу суттєво скоротити їх обсяги — на 20,23% порівняно з попередніми роками. Максимальні показники утилізації (коефіцієнт 5,80) засвідчили ефективність запропонованих технологій. Економічний аналіз показав значну вигоду від переробки полімерних матеріалів, що дає можливість знижувати витрати на первинну сировину. Зокрема, переробка поліпропілену та поліетилену забезпечила економію у 961 та 1025 євро за тону відповідно.

Рентабельність цих процесів перевищила в 4 рази, що підкреслює фінансову доцільність їх упровадження.

Наукова новизна дослідження полягає у встановленні взаємозв'язку між показниками економічної ефективності й обсягами утилізації відходів. Дослідження також визначило ключові фактори, які впливають на успішність упровадження технологій переробки.

Практична значущість отриманих результатів виявляється в можливості застосування розроблених рішень на підприємствах хімічної промисловості. Запропоновані підходи сприяють оптимізації ресурсів, скороченню обсягів утворення відходів і зниженню екологічного навантаження. Це дає змогу підприємствам одночасно підвищувати свою економічну ефективність та екологічну відповідальність, що є ключовими умовами сталого розвитку.

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

Отримані результати демонструють, що впровадження інноваційних технологій у сфері переробки відходів є ефективним інструментом забезпечення економічної та екологічної сталості. Досвід і висновки дослідження можуть бути використані для розробки стратегій сталого розвитку в хімічній промисловості, сприяючи її адаптації до сучасних викликів і зміцненню конкурентних позицій на міжнародному ринку.

Ключові слова: управління відходами, економічна ефективність, хімічна промисловість, переробка полімерів, сталий розвиток, зниження екологічного навантаження.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE CHEMICAL INDUSTRY THROUGH INNOVATIVE APPROACHES TO WASTE PROCESSING

O. M. Vasylenko

The modern chemical industry faces a number of challenges, among which the key ones are increasing the efficiency of resource use, minimizing waste generation and implementing waste processing technologies. In the context of Ukraine's integration into the European economic space, the implementation of the principles of sustainable development and circular economy, which meets international standards and environmental requirements, is becoming relevant.

The purpose of this study was to determine the effectiveness of implementing waste processing technologies in the production processes of chemical industry enterprises. Particular attention was paid to the analysis of the economic and environmental benefits of using secondary raw materials, as well as assessing the possibilities of its integration into production cycles.

The research methodology was based on the use of quantitative analysis, a comparative approach and system analysis. During the work, the dynamics of waste generation, the efficiency of their utilization, the profitability of using secondary raw materials and the economic benefit of the implemented solutions were assessed. The representativeness of the data used ensured the reliability of the conclusions and the possibility of adapting the results for other enterprises in the industry.

The results of the study showed that the implementation of innovative approaches to waste management allowed to significantly reduce their volumes - by 20.23% compared to previous years. The maximum utilization rates (coefficient 5.80) confirmed the effectiveness of the proposed technologies. The economic analysis showed a significant benefit from the processing of polymer materials, which allows to reduce the costs of primary raw materials. In particular, the processing of polypropylene and polyethylene provided savings of 961 and 1025 euros per ton, respectively. The profitability of these processes exceeded 4 times, which emphasizes the financial feasibility of their implementation.

The scientific novelty of the study lies in establishing the relationship between economic efficiency indicators and the volumes of waste utilization. The study also identified key factors that affect the success of the implementation of processing technologies.

The practical significance of the results is manifested in the possibility of applying the developed solutions at chemical industry enterprises. The proposed approaches contribute to the optimization of resources, reduction of waste generation and reduction of environmental burden. This allows enterprises to simultaneously increase their economic efficiency and environmental responsibility, which are key conditions for sustainable development.

The results obtained demonstrate that the introduction of innovative technologies in the field of waste processing is an effective tool for ensuring economic and environmental sustainability. The experience and conclusions of the study can be used to develop sustainable development strategies in the chemical industry, contributing to its adaptation to modern challenges and strengthening competitive positions in the international market.

Key words: waste management, economic efficiency, chemical industry, polymer processing, sustainable development, reduction of environmental burden.

Вступ

Сталий розвиток є основною концепцією, яка визначає стратегію економічного зростання у світі, орієнтуючись на збереження природних ресурсів і зниження негативного впливу на довкілля. Особливого

значення ця концепція набуває у хімічній промисловості, яка є однією з найбільш ресурсоємних і екологічно впливових галузей. Інтеграція принципів сталого розвитку у діяльність підприємств хімічної промисловості сприяє одночасному досягненню

економічної ефективності й екологічної безпеки.

Одним із ключових елементів сталого розвитку є рециркулярна економіка, яка передбачає мінімізацію утворення відходів шляхом створення замкнених циклів використання ресурсів. Для підприємств хімічної промисловості це означає перехід від традиційної лінійної моделі виробництва до циркулярної, де відходи не утилізуються, а перетворюються на сировину для нових виробничих циклів. Такий підхід дає змогу знизити залежність від первинних ресурсів, скоротити витрати на їх закупівлю та мінімізувати негативний вплив на екосистеми.

Важливість переходу до сталого розвитку та рециркулярної економіки підкреслюється як європейським, так і вітчизняним законодавством. У Європейському Союзі реалізуються численні ініціативи, зокрема Європейська зелена угода (The European..., 2019) та Директива 2008/98/ЄС про відходи (Directive 2008/98/EC on waste), яка встановлює ієрархію управління відходами. Основними пріоритетами є запобігання утворенню відходів, їх переробка та повторне використання. Україна, інтегруючись у європейський простір, також імплементує ці принципи у своє національне законодавство. Закон України «Про управління відходами» (Закон..., 2022) визначає правові засади впровадження сучасних технологій переробки відходів і стимулювання екологічно відповідального бізнесу.

Незважаючи на прогресивні законодавчі ініціативи, впровадження сталих практик у хімічній промисловості залишається викликом. Основними проблемами є високі інвестиційні витрати на модернізацію виробництва, недостатня технічна база для переробки складних видів відходів і низька обізнаність підприємств щодо переваг циркулярної економіки. Водночас зростаючі вимоги до екологічної відповідальності та соціальний тиск створюють стимули для впровадження нових підходів до управління ресурсами.

Україна має значний потенціал у впровадженні принципів рециркулярної економіки. Наявність розвинутої хімічної промисловості створює основу для розробки та реалізації інноваційних технологій переробки полімерних відходів. Наприклад, перехід на хімічний рециклінг дає можливість переробляти змішані полімери, які раніше вважалися непридатними для повторного використання. Крім того, впрова-

дження міжнародних стандартів ISO 14000 (ISO 14000:2015 Environmental management systems) сприяє покращенню екологічної ефективності виробничих процесів.

Таким чином, актуальність дослідження зумовлена необхідністю інтеграції принципів сталого розвитку та рециркулярної економіки в діяльність підприємств хімічної промисловості. Використання прогресивних підходів до управління ресурсами дасть змогу не лише мінімізувати негативний вплив на довкілля, але й забезпечити конкурентоспроможність підприємств на глобальному ринку.

Сучасна хімічна промисловість привертає значну увагу дослідників через необхідність оптимізації використання ресурсів та мінімізації утворення відходів. Гейсдорфер та ін. (Geissdoerfer et al., 2017) у своїх дослідженнях визначають рециркулярну економіку як нову парадигму сталого розвитку, що спрямована на мінімізацію використання природних ресурсів і створення замкнених циклів виробництва. Кірхгерр та ін. (Kirchherr et al., 2017) додають, що циркулярна економіка передбачає інтеграцію екологічних, соціальних та економічних підходів, які є особливо важливими для галузей, що генерують великі обсяги відходів, як-от хімічна промисловість. Гізелліні та ін. (Ghisellini et al., 2016) підкреслюють, що інноваційні технології, а саме хімічний рециклінг, є ключем до зменшення негативного впливу на довкілля. Стаель (Stahel, 2016) наголошує, що застосування хімічного рециклінгу дає змогу перетворити складні відходи на вторинну сировину, зменшуючи залежність від первинних ресурсів. Водночас розвиток таких технологій у багатьох країнах, що розвиваються, зокрема в Україні, ускладнюється через відсутність сучасної інфраструктури та недостатній рівень державної підтримки.

Попри значний прогрес у розвитку циркулярної економіки, залишається низка невирішених питань, які стримують упровадження сталих практик у хімічній промисловості. Одним із головних викликів є високі витрати на впровадження інноваційних технологій. Гізелліні та ін. (Ghisellini et al., 2016) зазначають, що модернізація виробничих процесів, зокрема впровадження хімічного рециклінгу, потребує значних інвестицій, які не завжди доступні для підприємств, особливо в країнах, що розвиваються. Крім того, відсутність розвинутої інфраструктури для переробки склад-

них полімерних відходів створює додаткові труднощі для ефективного впровадження циркулярної економіки.

Корхонен та ін. (Korhonen et al., 2018) наголошують, що стандартизація методів переробки є критично важливою для досягнення глобальної координації в управлінні ресурсами. В Україні відсутність чітких стандартів для оцінки екологічної ефективності виробничих процесів ускладнює інтеграцію національних ініціатив із міжнародними. Зокрема, невідповідність між методологіями моніторингу та звітності ускладнює оцінку прогресу й порівняння результатів на міжнародному рівні.

Аналіз літератури та законодавства свідчить, що хімічна промисловість має великий потенціал для впровадження принципів сталого розвитку. Однак успішна реалізація цих принципів потребує комплексного підходу, який передбачає технічне переоснащення підприємств, стандартизацію методів переробки, стимулювання інновацій і вдосконалення законодавства.

Матеріал і методи

Матеріалом для проведення роботи стали виробничі дані компанії FPS Flexible Packaging Solutions (FPS), одного з провідних глобальних виробників гнучкої упаковки. Компанія спеціалізується на виробництві великогабаритних мішків (FIBC), контейнерних вкладишів та інших рішень для зберігання і транспортування продукції в різних галузях, включно із хімічною, харчовою, фармацевтичною, сільськогосподарською та будівельною (FPS..., 2025). Для дослідження було використано дані про обсяги утворення технологічних відходів у процесі виробництва за період 2018–2024 років, кількість використаної сировини для виготовлення продукції, обсяги перероблених матеріалів та їх повторного використання у виробничому циклі. Також було проаналізовано фінансові показники, як-от вартість утилізації відходів та економія від переробки матеріалів. Репрезентативність отриманої інформації дає змогу оцінювати ефективність управління відходами, визначати їх вплив на довкілля й розраховувати економічний ефект від впровадження інноваційних технологій переробки. Завдяки даним, отриманим під час аналізу, можна екстраполювати результати дослідження на інші підприємства компанії FPS та хімічну промисловість загалом, оскільки глобальна корпорація FPS застосовує єдині корпора-

тивні стратегії управління виробничими процесами, ресурсами та відходами.

У рамках дослідження було приділено увагу діяльності заводу FPS, розташованому в місті Житомирі, Україна. Це підприємство спеціалізується на виготовленні гнучкої упаковки для промислових і сільськогосподарських потреб. Виробничі процеси заводу орієнтовані на інтеграцію принципів циркулярної економіки, що забезпечує мінімізацію утворення відходів, повторне використання матеріалів та їх переробку.

Для оцінки ефективності управління відходами й економічної вигоди їх переробки використовувалися коефіцієнти ефективності управління відходами, які дають змогу комплексно оцінити стан і результати діяльності підприємства в цій сфері. Регулярний обчислення цих показників не лише допомагає контролювати ефективність управління відходами, але й забезпечує основи для прийняття рішень щодо вдосконалення технологічних процесів і зниження екологічного навантаження на навколишнє середовище.

Коефіцієнт утилізації відходів було застосовано для оцінки ефективності управління відходами підприємства. Він показав, яку частину утворених відходів було успішно перероблено, утилізовано або використано в повторних виробничих циклах. Для його обчислення визначали відсоткову частку кількості контрольованих відходів у загальному обсязі утворених відходів. Отримані результати дали змогу оцінити рівень ефективності управління відходами.

Інтенсивність утворення відходів було використано для визначення кількості відходів, які утворювались, на одиницю використаної сировини. Для цього знаходили частку (%) загальної кількості утворених відходів у кількості використаної сировини. Аналіз цього коефіцієнта показав, наскільки раціонально використовувалися ресурси та які були успіхи у зниженні обсягів утворених відходів.

Долю контрольованих відходів у загальній масі було застосовано для визначення частки відходів, які перебували під постійним контролем підприємства. Для цього розраховували відсоткову частку кількості контрольованих відходів у загальному обсязі утворених відходів. Цей коефіцієнт дав можливість проаналізувати, наскільки ефективно підприємство здійснювало моніторинг і контроль за відходами.

Коефіцієнт переробки сировини використовували для оцінки ефективності інте-

грації вторинних ресурсів у виробничі процеси. Для цього знаходили частку кількості перероблених відходів у загальному обсязі утворених відходів. Результати дали змогу визначити, яку частину відходів вдалося перетворити у вторинну сировину для повторного використання.

Коефіцієнт зниження відходів було застосовано для оцінки прогресу підприємства у скороченні обсягів утворених відходів порівняно з базовим (2018) роком. Для цього знаходили різницю між кількістю відходів у базовому році та кількістю відходів у звітному році (2024), визначали частку цієї різниці в кількості відходів базового року та переводили її у відсоткову частку. Результат показує ступінь зменшення обсягів відходів і дає змогу оцінити ефективність впроваджених заходів.

Економічну вигоду від утилізації було обчислено для аналізу фінансової доцільності процесів утилізації відходів. Для цього знаходили частку між заощадженими коштами від утилізації та витратами на її реалізацію. Економічна вигода від переробки була розрахована з урахуванням даних: собівартість переробки поліпропілену становила 282 євро за тонну, а поліетилену – 304 євро за тонну, ціна первинної сировини для поліпропілену досягала 1243 євро за тонну, а для поліетилену – 1329 євро за тонну (Овдіюк і Василенко, 2024). Ці показники дали можливість детально оцінити економічну вигоду від використання вторинної сировини порівняно з первинною.

Метою проведеного дослідження є аналіз наявних методів переробки полімерних

відходів на підприємствах хімічної промисловості й оцінка їхньої ефективності з позицій екологічних і економічних показників. Завдання полягають у визначенні доцільності й ефективності впровадження технологій переробки, спрямованих на зменшення негативного впливу на довкілля.

Результати

Дослідження динаміки загальної кількості відходів, утворених підприємством, свідчить про відносну стабільність протягом 2018–2022 років із незначними коливаннями в межах 396–442 тонн (рис. 1). У 2023 році спостерігається суттєве зростання обсягу відходів до 539,6 тонн, що було обумовлено збільшенням виробничих обсягів і впровадженням нових технологічних процесів. Проте у 2024 році кількість відходів знизилася до 516,1 тонн, що є наслідком впровадження більш ефективних практик управління відходами, орієнтованих на їх мінімізацію.

Аналіз контрольованих відходів показав сталість протягом 2018–2021 років із показниками 296–231 тонна, що вказує на сталість управління відходами у ці роки (рис. 2). У 2022–2024 роках обсяги контрольованих відходів зростають, досягнувши 288,9 тонн у 2024 році. Це свідчить про активізацію роботи підприємства щодо моніторингу й управління відходами, що позитивно впливає на екологічну ефективність виробничих процесів.

Коефіцієнт утилізації демонструє ефективність переробки відходів підприємством. У 2020 році було зафіксовано найнижчий показник (4,19), що пов'язано з тимчасо-

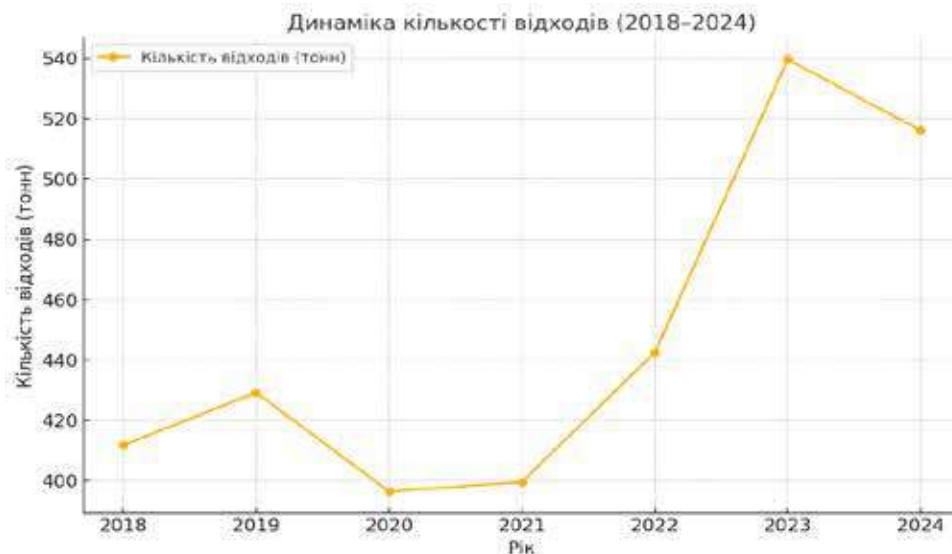


Рис. 1. Динаміка кількості відходів (2018–2024)

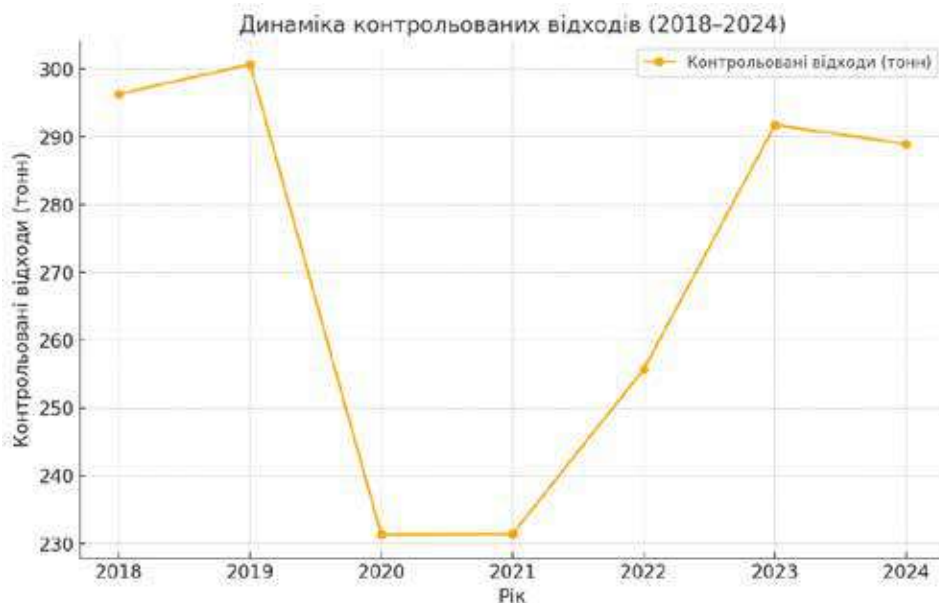


Рис. 2. Динаміка контрольованих відходів (2018–2024)

вими збоями у виробничих і переробних процесах (рис. 3). У 2024 році цей показник досягнув максимального значення (5,80), що вказує на впровадження інноваційних технологій і вдосконалення процесів переробки, які суттєво підвищили ефективність утилізації відходів.

Показник долі контрольованих відходів у загальній масі відходів є подібним до коефіцієнта утилізації, оскільки вони обидва відображають ефективність управління відходами. У період 2018–2022 років доля контрольованих відходів залишалася

відносно стабільною (4,13–5,50%) (рис. 4). У 2024 році частка контрольованих відходів зросла до 5,80%, що свідчить про посилення контролю за утилізацією та ефективне впровадження практик моніторингу.

Дослідження показало, що обсяг використаної сировини зростав до 2022 року, коли було досягнуто пікових показників (6161,7 тонни), що відображає максимальні обсяги виробництва (рис. 5). У 2024 році обсяг сировини зменшився до 4981,6 тонни, що пояснюється оптимізацією виробничих процесів, скороченням витрат на первинну

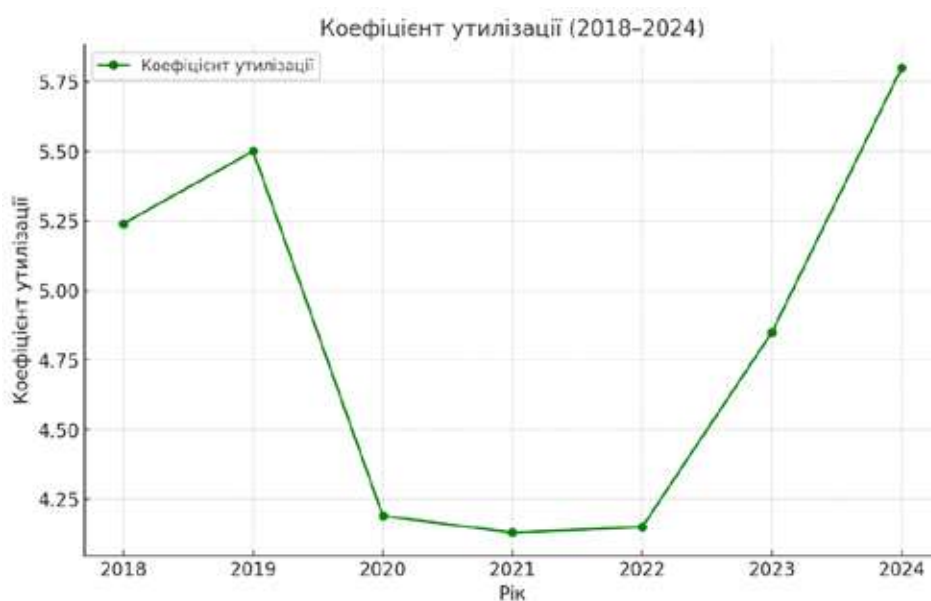


Рис. 3. Коефіцієнт утилізації (2018–2024)

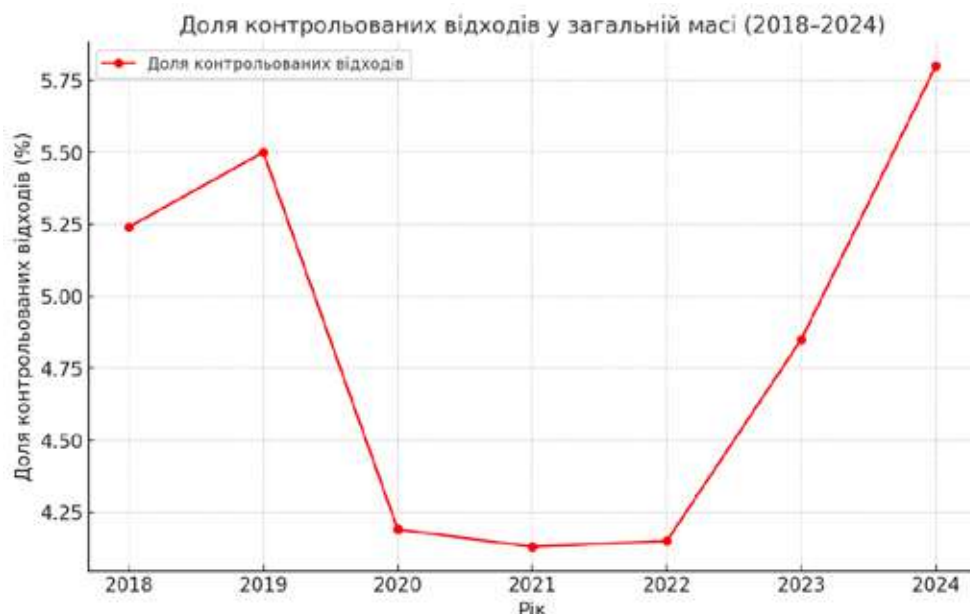


Рис. 4. Доля контрольованих відходів у загальній масі (2018–2024)

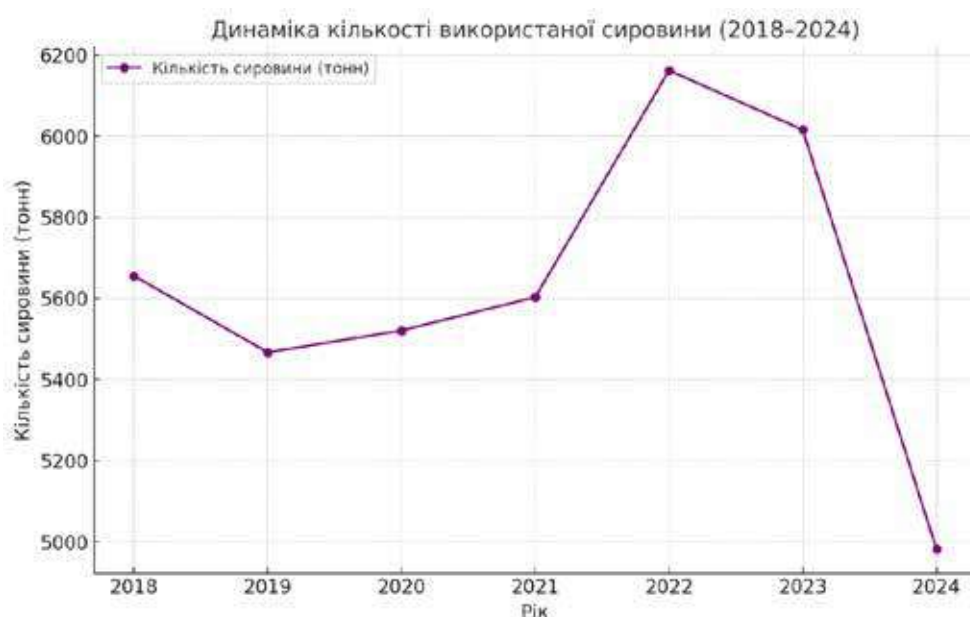


Рис. 5. Динаміка використання сировини (2018–2024)

сировину та впровадженням системи повторного використання ресурсів. Це вказує на успішну реалізацію принципів циркулярної економіки.

Коефіцієнт зниження відходів за період дослідження (2018–2024 рр.) становив 20,23%, що демонструє суттєвий прогрес у мінімізації обсягів відходів на підприємстві. Це досягнення є результатом впровадження інноваційних технологій, спрямованих на зменшення утворення відходів, підвищення ефективності їх утилізації та

активного контролю за всіма етапами поводження з відходами. Такий показник свідчить про послідовну роботу підприємства в напрямі сталого розвитку та зниження екологічного навантаження.

Результати обрахунків демонструють, що економічна вигода від переробки поліпропілену досягла 961 євро за тону, а для поліетилену цей показник становив 1025 євро за тону. Це підкреслює фінансову ефективність використання вторинної сировини, що дає змогу значно зменшити витрати на

закупівлю первинних матеріалів. Висока економічна вигода також є індикатором конкурентних переваг підприємств, які впроваджують технології переробки.

Рентабельність переробки поліпропілену становила 4,41 раз, а поліетилену – 4,37 раз. Такий рівень свідчить про те, що собівартість переробки в кілька разів нижча за ціну первинної сировини, що підтверджує доцільність цих підходів. Підприємства, які інтегрують процеси переробки у свою діяльність, отримують значні фінансові вигоди та зменшують ризики, пов'язані зі змінами вартості первинних ресурсів.

Обговорення

Результати проведеного дослідження підтвердили високу ефективність інтеграції сучасних технологій переробки та повторного використання матеріалів у виробничі процеси. Представлені практики, реалізовані компанією, свідчать про можливість комплексного підходу до впровадження принципів циркулярної економіки на глобальному рівні.

Скорочення кількості відходів у 2024 році на 20,23% порівняно з попереднім періодом (2018 роком) є свідченням успішності заходів, спрямованих на мінімізацію утворення відходів. Цей показник демонструє ефективність реалізації екологічно відповідальних практик, що ґрунтуються на оптимізації виробничих процесів. Водночас успішна реалізація подібних заходів на інших підприємствах FPS підтверджує, що принципи сталого розвитку можуть бути адаптовані до різних виробничих умов.

Ще однією з ключових практик FPS є організація повернення використаних матеріалів постачальникам. Зокрема, повернення котушок для ниток, картонних коробок і палет забезпечує зменшення витрат на утилізацію і виготовлення нових матеріалів. Наприклад, завдяки компактному пакуванню 720 котушок на одному піддоні вдалося оптимізувати транспортування та зменшити логістичні витрати. Важливо зазначити, що подібні підходи впроваджуються на рівні всієї корпорації, сприяючи глобальному скороченню ресурсних витрат і зниженню вуглецевого сліду.

Системи переробки картону, пластику та розчинників, реалізовані FPS, забезпечують значну економічну й екологічну вигоду. Усі картонні коробки, що надходять з поставками, збираються, пресуються й передаються на переробку. Аналогічно залишки чорнил і розчинників рекультивуються та

використовуються повторно. Такий підхід дає змогу зменшити обсяги відходів, які підлягають утилізації, і мінімізувати витрати на придбання нових матеріалів. Застосування цих заходів на підприємствах корпорації підтверджує універсальність описаних рішень.

Економічна вигода від переробки полімерних матеріалів є важливим показником ефективності впроваджених екологічних практик. Аналіз фінансових результатів демонструє, що витрати на переробку значно нижчі порівняно з вартістю первинної сировини, що дає змогу досягти суттєвого економічного ефекту. Висока рентабельність цього процесу підтверджує доцільність використання вторинних ресурсів у виробничих циклах, забезпечуючи фінансову стійкість підприємства та зменшуючи залежність від ринкових коливань цін на первинну сировину. Це підкреслює важливість використання вторинної сировини для зниження витрат і підвищення фінансової стійкості. Водночас фізичні обмеження вторинних матеріалів унеможливають їх повне заміщення, проте навіть часткове впровадження забезпечує суттєві переваги.

Висновки

Сталий розвиток хімічної промисловості в сучасних умовах є критично важливим напрямом для забезпечення гармонійного поєднання економічного зростання та мінімізації негативного впливу на довкілля. Проведене дослідження, базоване на аналізі виробничих процесів компанії FPS Flexible Packaging Solutions, підкреслює значущість впровадження інноваційних підходів до управління ресурсами та відходами, що сприяє реалізації принципів циркулярної економіки.

Зменшення обсягів утворених відходів, оптимізація використання сировини та підвищення ефективності переробки є ключовими досягненнями, які демонструють високий рівень відповідальності компанії FPS у сфері екологічного управління. Зокрема, зниження кількості відходів у 2024 році на 20,23% підтверджує ефективність реалізованих технологій. Використання вторинної сировини, наприклад полімерних матеріалів, забезпечило значний економічний ефект завдяки суттєвій різниці між витратами на переробку та вартістю первинних ресурсів.

Важливим елементом успіху компанії є впровадження рішень, які можуть бути екстрапольовані на інші підприємства хіміч-

ної галузі. Системи повернення катушок, палет, картонної та пластикової упаковки постачальникам, а також рекультивация розчинників сприяють зниженню загальних витрат на утилізацію та зменшують навантаження на екосистеми. Такі заходи є яскравим прикладом інтеграції рециркулярної економіки в діяльність підприємств хімічної промисловості.

Таким чином, отримані результати підтверджують, що сталий розвиток хімічної промисловості через упровадження інноваційних підходів до переробки відходів є економічно доцільним і екологічно необхідним кроком. Досвід FPS Flexible Packaging Solutions демонструє, що інтеграція принципів циркулярної економіки в бізнес-практики не лише підвищує ефективність виробничих процесів, але й сприяє формуванню сталого майбутнього для галузі та суспільства загалом.

Усі зазначені напрями досліджень орієнтовані на вдосконалення методів еко-

логічного моніторингу, зокрема, шляхом підвищення його точності та інтеграції інноваційних екологічних показників у процедури післяпроектної оцінки. Це створює підґрунтя для формування науково обґрунтованих і практично орієнтованих рішень, спрямованих на ефективне та стає управління відходами, мінімізацію їх негативного впливу на довкілля й забезпечення екологічної рівноваги в умовах сучасних викликів.

Подяка

Автор висловлює подяку колективу підприємства «FPS Flexibles Україна» за надану підтримку в процесі збору даних, консультації та співпрацю під час написання статті. Особлива вдячність висловлюється за доступ до актуальної інформації щодо виробничих процесів і впроваджених технологій переробки відходів, що суттєво сприяло проведенню ґрунтового аналізу й отриманню достовірних результатів дослідження.

Список використаної літератури

Про управління відходами : Закон України від 20.06.2022 [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2320-20> (дата звернення 24.01.2025).

Овдіюк О.М., Василенко О.М. Еколого-економічний аспект ефективності управління утилізації твердих полімерних відходів. *Економіка та суспільство*. 2024. № 69 [Електронний ресурс]. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/5119> (дата звернення 08.01.2025).

Directive 2008/98/EC on waste (EU, 2008) [Electronic resource]. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0098> (access date 25.01.2025).

FPS. Офіційний сайт [Електронний ресурс]. URL: <http://www.fps.com> (дата звернення 25.01.2025).

Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N.M.P., Hultink E.J. The Circular Economy – A New Sustainability Paradigm? *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 143. P. 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>.

Ghisellini P., Cialani C., Ulgiati S. A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*. 2016. Vol. 114. P. 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>.

Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*. 2017. Vol. 127. P. 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.

Korhonen J., Honkasalo A., Seppälä J. Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*. 2018. Vol. 143. P. 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>.

Stahel W.R. The circular economy. *Nature*. 2016. Vol. 531. № 7595. P. 435–438. <https://doi.org/10.1038/531435a>.

The European Green Deal. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels, 11.12.2019, COM (2019) 640 final [Electronic resource]. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019D C0640> (access date 25.01.2025).

References

Pro upravlinnia vidkhodamy: Zakon Ukrainy [Law of Ukraine “On Waste Management”] (2022). [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2320-20> (access date 24.01.2025) [in Ukrainian].

Ovdiuk, O.M., & Vasylenko, O.M. (2024). Ekoloho-ekonomichnyi aspekt efektyvnosti upravlinnia utylizatsiiu tverdykh polimernykh vidkhodiv [Ecological and economic aspect of efficiency in solid polymer waste recycling management]. *Ekonomika ta suspilstvo* [Economy and Society], 69. [Electronic resource] URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/5119> (access date 08.01.2025) [in Ukrainian].

Directive 2008/98/EC on waste (EU, 2008). [Electronic resource] URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0098> (access date 25.01.2025) [in English].

FPS. Official website. [Electronic resource] URL: <http://www.fps.com> (access date 25.01.2025) [in English].

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N.M.P., & Hultink, E.J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048> [in English].

Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007> [in English].

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005> [in English].

Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The concept and its limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041> [in English].

Stahel, W.R. (2016). The circular economy. *Nature*, 531 (7595), 435–438. <https://doi.org/10.1038/531435a> [in English].

The European Green Deal (2019). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee, and the Committee of the Regions. Brussels, 11.12.2019, COM (2019) 640 final. [Electronic resource] URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019 DC0640> (access date 25.01.2025) [in English].

Отримано: 31.01.2025

Прийнято: 14.02.2025



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 11
Український журнал природничих наук
№ 11

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

УДК 630:504.4:504.6

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.29>

ЛІСОВІ ПОЖЕЖІ У ФОКУСІ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ: ЕКОСИСТЕМНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ VOSVIEWER

Л. О. Герасимчук¹, Р. А. Валерко², І. Г. Пацева³, І. С. Пацев⁴

Дослідження лісових пожеж є міждисциплінарною сферою, яка охоплює екологічні, кліматичні, технологічні й управлінські аспекти. Для аналізу цієї складної теми сучасна наука використовує інструменти візуалізації знань, зокрема VOSviewer, які дають змогу аналізувати великі обсяги наукових даних і виявляти взаємозв'язки між ключовими поняттями та тенденціями досліджень. Інформаційною базою досліджень стала реферативна наукометрична база даних наукових публікацій Web of Science (WoS) за ключовими словами forest fires («лісові пожежі»).

На основі цього запиту було сформовано 51 191 наукову публікацію, що охоплює період досліджень 1971–2025 рр. Для візуалізації даних бібліографічної бази даних Web of Science застосовували VOSviewer – програмний інструмент для створення карт на основі мережевих даних, що є у вільному доступі. За результатами візуалізації визначено такі кластери: червоний – сфокусований на екологічних і біологічних аспектах лісових пожеж, акцентуючи увагу на ролі пожеж у підтримці екосистемної рівноваги, збереженні біорізноманіття та відновленні природних середовищ; синій – відображає технологічні аспекти, включно з прогнозуванням, моніторингом та управлінням пожежами за допомогою сучасних інструментів, як-от GIS, дистанційне зондування та глибоке навчання; зелений – зосереджується на екологічному управлінні, відновленні екосистем і підвищенні їх стійкості до майбутніх пожеж; жовтий – пов'язаний із глобальними

¹ кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри екології та природоохоронних технологій
(Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир)
e-mail: gerasim4uk@ukr.net
ORCID: 0000-0002-3166-5588

² кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри екології та природоохоронних технологій
(Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир)
e-mail: valerko_ruslana@ukr.net
ORCID: 0000-0003-4716-0100

³ доктор технічних наук,
професор кафедри екології та природоохоронних технологій
(Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир)
e-mail: rig@ztu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-6271-7355

⁴ аспірант кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища
(Національний транспортний університет, м. Київ)
e-mail: rig@ztu.edu.ua
ORCID 0009-0001-4541-2223

наслідками пожеж, як-от зміна клімату, викиди вуглецю та деградація екосистем; фіолетовий – висвітлює вплив пожеж на якість повітря, здоров'я населення та хімічні процеси, пов'язані із забрудненням. Найбільшу питому вагу як за кількістю появ у тексті, так і за силою зв'язку має червоний кластер – 43,8% та 44,4% відповідно, що вказує на його домінуючу роль у тематиці. Перспективними напрямками подальших досліджень є: екологічні аспекти (поглиблення знань про вплив пожеж на біорізноманіття, кругообіг елементів та відновлення екосистем), технологічні рішення (інтеграція штучного інтелекту, супутникових технологій і прогностичних моделей для управління пожежами), кліматичні наслідки (оцінка ролі пожеж у зміні клімату та розробка глобальних стратегій пом'якшення їхніх наслідків), соціально-екологічні підходи (дослідження впливу пожеж на здоров'я населення, особливо вразливих груп, і створення стратегій захисту), а враховуючи вторгнення РФ – наслідки військових дій, адже пожежі, спричинені ними, мають унікальні характеристики, які потребують детального аналізу (моніторинг, дослідження викидів, розробка стратегій відновлення лісових екосистем).

Ключові слова: лісові пожежі, кластери, екологічні, кліматичні, технологічні й управлінські аспекти, перспективи досліджень, військові дії.

FOREST FIRES IN THE FOCUS OF CLUSTER ANALYSIS: ECOSYSTEM AND TECHNOLOGICAL ASPECTS THROUGH THE PRISM OF VOSVIEWER

L. O. Herasymchuk, R. A. Valerko, I. H. Patseva, I. S. Patsev

Wildfire research is an interdisciplinary field that encompasses ecological, climatic, technological, and management aspects. To analyze this complex topic, modern science uses knowledge visualization tools, such as VOSviewer, which allow analyzing large amounts of scientific data and identifying relationships between key concepts and research trends. The information base of the research was the Web of Science (WoS) abstract scientometric database of scientific publications using the keywords "forest fires". Based on this query, a set of scientific publications covering the research period 1971–2025 was formed. To visualize the data from the Web of Science bibliographic database, VOSviewer, a software tool for creating maps based on freely available network data, was used. Based on the results of the visualization, the following sectors were identified: red – focuses on the ecological and biological aspects of forest fires, emphasizing the role of fires in maintaining ecosystem balance, conserving biodiversity and restoring natural environments; blue – reflects technological aspects, including forecasting, monitoring and managing fires using modern tools such as GIS, remote sensing and deep learning; green – focuses on environmental management, restoration of ecosystems and increasing their resilience to future fires; yellow – related to global impacts of fires, such as climate change, carbon emissions and ecosystem degradation; purple – highlights the impact of fires on air quality, public health and chemical processes associated with pollution. Promising areas for further research include ecological aspects (deepening knowledge of the impact of fires on biodiversity, elemental cycles, and ecosystem restoration), technological solutions (integration of artificial intelligence, satellite technologies, and predictive models for fire management), and climate impacts (assessing the role of fires in climate change and developing global mitigation strategies), socio-environmental approaches (studying the impact of fires on public health, especially vulnerable groups, and developing protection strategies), and, given the Russian invasion, the consequences of military operations, as the fires caused by them have unique characteristics that require detailed analysis (monitoring, research on emissions, development of strategies for restoring forest ecosystems).

Key words: forest fires, clusters, environmental, climatic, technological and managerial aspects, research perspectives, military operations.

Вступ

Ліси виконують ключову роль у підтриманні екологічної рівноваги планети, необхідні для життя людини, збереження стабільного клімату та є об'єктом сталого розвитку (ціль 15) (Герасимчук та ін., 2023). Одним із деградаційних процесів у лісових екосистемах є пожежі. Лісові пожежі – це один із найважливіших екологічних викли-

ків сучасності, які суттєво впливають на стан екосистем, глобальний клімат і добробут суспільства. Щорічно тисячі гектарів лісів у всьому світі зазнають руйнівного впливу вогню, що призводить до значних втрат біорізноманіття, порушення екологічних процесів, викидів парникових газів і деградації ґрунтів. Водночас вплив лісових пожеж виходить за межі природного сере-

довища, торкаючись соціальних, економічних аспектів і здоров'я населення (Валерко та Герасимчук, 2017; Herasymchuk et al., 2023; Валерко та ін., 2023; Герасимчук та ін., 2023).

Надзвичайно широкою є географія вивчення лісових пожеж, що охоплює всі куточки світу: США (Roberts et al., 2021; Smith et al., 2024; Tortorelli et al., 2024), Іспанія (Peris-Llopis et al., 2024), Індія (Pati et al., 2024; Himanshu et al., 2024; Khan, 2024; Mohd et al., 2024), Португалія (Al Pavel et al., 2023), Центральні Гімалаї (Sati, 2024), Непал (Dhungana et al., 2024), Північний Таїланд (Noroozi et al., 2024), Бангладеш (Haydar et al., 2024), Іран (Asadollah et al., 2024), Канада (Chavardes & Daniels, 2016), Бразилія (Araújo et al., 2017), Україна (Валерко та Герасимчук, 2017; Herasymchuk et al., 2023; Валерко та ін., 2023; Герасимчук та ін., 2023).

Дослідження лісових пожеж є міждисциплінарною сферою, яка охоплює екологічні, кліматичні, технологічні й управлінські аспекти. Для аналізу цієї складної теми сучасна наука використовує інструменти візуалізації знань, як-от VOSviewer, що дають змогу аналізувати великі обсяги наукових даних і виявляти взаємозв'язки між ключовими поняттями та тенденціями досліджень.

Попри значний науковий інтерес до лісових пожеж, їхній вплив на екосистеми, клімат і суспільство, питання комплексного міждисциплінарного аналізу цієї тематики залишається недостатньо висвітленим. Особливо це стосується інтеграції екологічних і технологічних аспектів за допомогою сучасних методів кластерного аналізу, а саме VOSviewer. Мало уваги приділено використанню інструментів візуалізації знань для систематизації та аналізу наукових даних у цій сфері. Зокрема, недостатньо досліджень, які ідентифікують ключові теми, тренди та прогалини у вивченні лісових пожеж через аналіз наукових кластерів. Це ускладнює вироблення ефективних стратегій для пом'якшення наслідків пожеж та інтегрованого управління екосистемами.

Матеріал і методи

Інформаційною базою досліджень стала реферативна наукометрична база даних наукових публікацій Web of Science (WoS) за ключовими словами forest fires. На основі цього запиту було сформовано набір наукових публікацій, що охоплює період досліджень 1971–2025 рр. Для візуаліза-

ції даних бібліографічної бази даних Web of Science застосовували VOSviewer – програмний інструмент для створення карт на основі мережевих даних, що є у вільному доступі. Програмний інструмент VOSviewer, що показує, як різні терміни або ключові слова використовуються в контексті наукових публікацій або досліджень, зв'язки між вузлами (термінами) представляють частоту спільного вживання або цитування, а товщина ліній між ними вказує на силу цих зв'язків. Кольори груп термінів на схемі вказують на різні тематичні кластери, що показують зв'язки між конкретними аспектами дослідження. Робота з VOSviewer дає змогу виявити основні напрями досліджень, їхні взаємозв'язки і створити чітке уявлення про структуру предметної області.

Результати та їх обговорення

У бібліографічній базі даних Web of Science за запитом forest fires наявна 51 191 публікація, що охоплює період 1971–2025 рр. VOSviewer визначено 11 746 ключових слів, які мають різні кількості повторень і силу зв'язку. Функціонал VOSviewer дав змогу здійснити візуалізацію на основі 1000 ключових слів, що мають найбільшу сумарну силу посилення, результати чого наведені на рис. 1. Результати візуалізації з використанням програмного інструмента VOSviewer на основі 1000 ключових слів, що мають найбільшу сумарну силу посилення, наведено на рис. 1.

За результатами візуалізації сформовано шість кластерів (див. рис. 1), які представляють різні тематичні напрями досліджень, пов'язані з лісовими пожежами. За результатами візуалізації VOSviewer визначено 50 ключових слів, які мають найбільшу повторюваність та силу зв'язку (табл. 1).

Найбільшу питому вагу як за кількістю появ у тексті, так і за силою зв'язку має червоний кластер – 43,8% та 44,4% відповідно (зелений кластер – 14,5% та 15,8%, синій кластер – 14,3% та 13,6%, жовтий кластер – 10,8% та 9,5%, сірий кластер – 8,5% та 9,1%, фіолетовий кластер – 8,2% та 7,7%) (див. рис. 1, табл. 1).

Червоний кластер містить 255 ключових слів та охоплює поняття, пов'язані з екологічними та біологічними аспектами лісових пожеж (див. табл. 1). Пожежі розглядаються не лише як руйнівний фактор, але і як природний процес, необхідний для підтримання екосистемної рівноваги. Дослідження в цьому напрямі є важливими для розробки стратегій управління лісами та пом'якшення

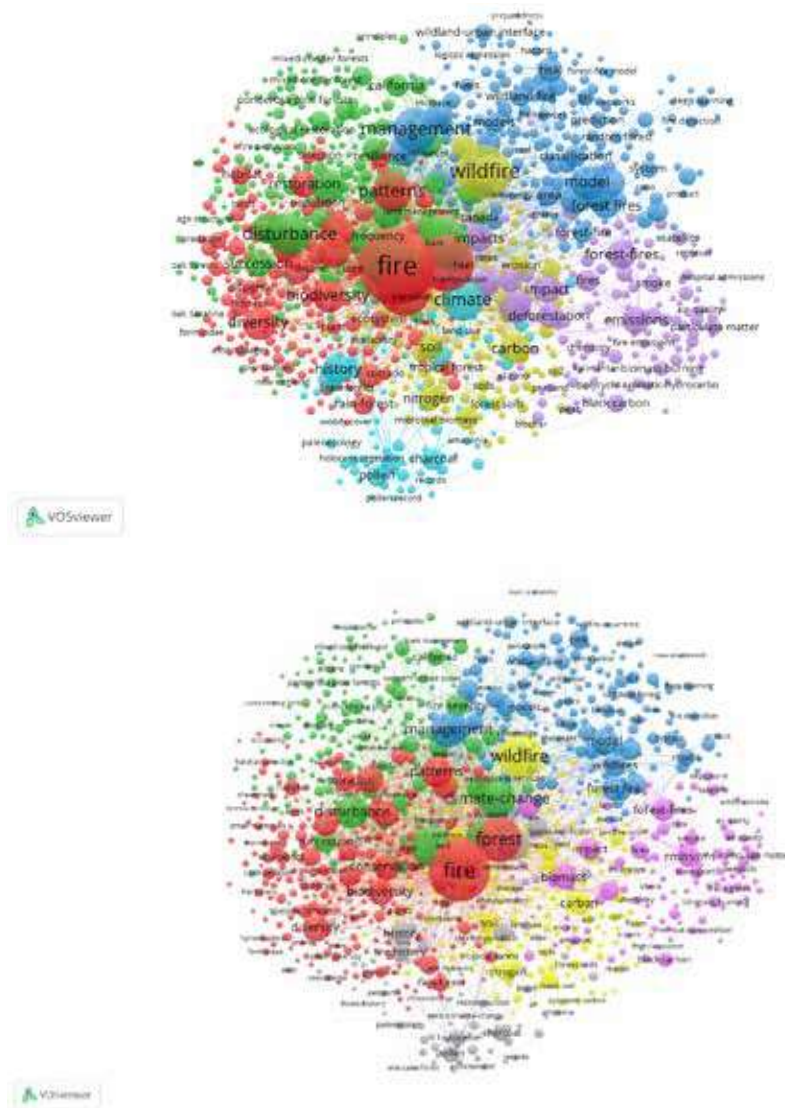


Рис. 1. Візуалізація даних бібліографічної бази даних Web of Science за запитом forest fires

наслідків пожеж. Fire («пожежа») є центральним терміном (9977 згадувань у наукових працях), що об'єднує всі інші поняття, як-от порушення, відновлення, сукцесія та різноманіття (загальна сила зв'язку – 67 539) (див. табл. 1).

Ключові слова, які мають найбільшу повторюваність і силу зв'язку, зосереджені на біорізноманітті та регенерації екосистем. Взаємозв'язки між термінами відображають складну динаміку природних процесів, що активуються після пожеж, як-от сукцесія, зміна патернів і відновлення середовищ існування. Екосистеми після пожеж стають мозаїчними, що сприяє підвищенню різноманіття та відновленню стійких ландшафтів. Це взаємопов'язані процеси, які підкреслюють необхідність інтегрованого

підходу до управління лісами, адаптації до пожеж і підтримки екологічної стійкості.

Перспективними напрямками досліджень, які допоможуть зрозуміти вплив пожеж на екосистеми та розробити ефективні стратегії їхнього відновлення й управління, у червоному кластері, на нашу думку, є: дослідження екологічних наслідків пожеж для біорізноманіття та середовищ існування; вивчення довготривалих наслідків пожеж для ландшафтів і клімату; розробка сталих підходів до управління пожежами та відновлення екосистем; інтеграція екологічних, соціальних і технологічних підходів для створення ефективних стратегій адаптації до змін клімату та підвищення частоти пожеж.

Зелений кластер складається з 184 ключових слів і пов'язаний із відновленням екосис-

Таблиця 1

50 ключових слів, які мають найбільшу повторюваність та силу зв'язку (за результатами візуалізації VOSviewer)

Ключові слова	Кількість появ	Загальна сила зв'язку
1	2	3
Червоний кластер, 255 слів		
fire («вогонь»)	9977	67 539
forest («ліс»)	5442	37 002
wildfire («природні пожежі»)	5034	37 794
vegetation («рослинність»)	4753	36 197
patterns («патерни»)	2600	19 772
prescribed fire («встановлена пожежа»)	1980	14 830
diversity («різноманіття»)	1947	14 615
biodiversity («біорізноманіття»)	1801	13 848
growth («зростання»)	1848	13 247
regeneration («регенерація»)	1611	12 805
forests («ліси»)	1759	12 316
restoration («відновлення»)	1285	10 136
responses («відповіді»)	1189	9202
communities («громади»)	1091	8085
savanna («савана»)	996	8064
ecology («екологія»)	1092	7705
Зелений кластер, 184 слова		
dynamics («динаміка»)	4092	31 444
disturbance («порушення»)	2910	24 201
boreal forest («бореальний ліс»)	1805	14 732
fire severity («інтенсивність пожежі»)	1384	11 575
drought («посуха»)	1355	10 991
succession («сукцесія»)	1288	10 398
regimes («режими»)	978	8320
California («Каліфорнія»)	894	7376
Синій кластер, 183 слова		
management («управління»)	3388	25 115
landscape («ландшафт»)	1548	12 383
model («модель»)	1964	11 470
wildfires («лісові пожежі»)	1431	9799
severity («інтенсивність»)	1224	10 175
remote sensing («супутникові технології»)	1259	8369
forest fire («лісова пожежа»)	1585	7405
burn severity («ступінь спалення»)	992	8464
risk («ризик»)	1074	6657
Жовтий кластер, 166 слів		
wildfire («лісова пожежа»)	5034	37 794
carbon («вуглець»)	151	12 620
soil («ґрунт»)	1167	8170
ecosystems («екосистеми»)	1072	8512
nitrogen («нітроген»)	1028	7622
temperature («температура»)	974	6525
Фіолетовий кластер, 114 слів		
biomass («біомаса»)	1700	11 832
impacts («впливи»)	1386	10 539
forest-fires («лісові пожежі»)	1456	8744

Продовження таблиці 1

1	2	3
impact («вплив»)	1335	9094
emissions («викиди»)	1331	8518
deforestation («знеліснення»)	1058	7266
Сірий кластер, 98 слів		
climate change («зміна клімату»)	3804	29 250
history («історія»)	1514	11 574
variability («мінливість»)	1244	9611
fire history («історія пожеж»)	1099	8441
land-use («землекористування»)	943	7080

тем, популяційною динамікою та впливом лісових пожеж на середовища існування, а терміном, який має найбільшу кількість згадувань (4092) та силу зв'язку (31 444), є dynamics («динаміка») (див. табл. 1). Зелений кластер відображає міждисциплінарний підхід до вивчення лісових пожеж, об'єднуючи екологічні, управлінські та відновлювальні аспекти. Акцент робиться на підтриманні природного балансу через розумне управління екосистемами, відновлення їх після пожеж і підвищення стійкості до майбутніх викликів.

Ключовими перспективами досліджень цього кластера є відновлення: вивчення механізмів підвищення стійкості екосистем; розробка стратегій відновлення лісів, ґрунтів і водних ресурсів; вивчення методів збереження біорізноманіття після пожеж; інтеграція практик сталого землекористування для запобігання масштабним пожежам.

Синій кластер об'єднує 183 ключові слова та зосереджений на інженерних і технологічних підходах до вивчення й управління лісовими пожежами, а ключовим терміном, який має найбільшу кількість згадувань (3388) і силу зв'язку (25 115), є management («управління») (див. табл. 1). Основний акцент робиться на управлінні, розробці інструментів для моніторингу, прогнозування та зменшення ризиків за допомогою супутникових даних і моделювання. Важливим напрямом є інтеграція супутникових технологій, машинного навчання й геоінформаційних систем для покращення реагування на пожежі.

Ключові перспективи досліджень синього кластера – розвиток інноваційних рішень для моніторингу та запобігання пожежам: використання AI, дистанційного зондування, GIS і моделей прогнозування для ефективного управління пожежами; удосконалення технологій виявлення пожеж та

оперативного реагування на них; інтеграція екологічних, соціальних, економічних і технологічних досліджень для комплексного вирішення проблем лісових пожеж; розробка стратегій, що враховують підвищення частоти пожеж унаслідок змін клімату.

Жовтий кластер вміщує 166 слів та стосується екологічних і вуглецевих аспектів, пов'язаних із лісовими пожежами, а ключовим терміном, який має найбільшу кількість згадувань (5034) і силу зв'язку (37 794), є wildfire («лісова пожежа») (див. табл. 1). Кластер висвітлює вплив пожеж на глобальні процеси, як-от викиди вуглецю та деградація екосистем, відображає глобальний контекст лісових пожеж, акцентуючи увагу на їхніх наслідках для викидів парникових газів і змін у використанні земель.

Ключові перспективи досліджень жовтого кластера охоплюють важливі питання, пов'язані з кругообігом елементів: вивчення викидів парникових газів та зміна вуглецевого балансу; дослідження зміни циклів вуглецю, азоту й інших елементів; дослідження процесів відновлення ґрунтів, рослинності та водних ресурсів після пожеж; вплив пожеж у стратегіях управління землями та лісами; інтеграція даних про пожежі в кліматичні моделі для оцінки їхнього довготривалого впливу. Такі дослідження допоможуть глибше зрозуміти роль лісових пожеж у глобальних екосистемах і розробити ефективні стратегії для їхнього пом'якшення й адаптації до змін клімату.

Фіолетовий кластер налічує 114 слів і стосується впливу лісових пожеж на якість повітря, викиди шкідливих речовин, вплив на здоров'я людей і хімічні процеси, що виникають під час пожеж, а терміном, який має найбільшу кількість згадувань (1700) і силу зв'язку (11 832), є biomass («біомаса») (див. табл. 1). Основні теми досліджень передбачають моніторинг викидів, роз-

робку технологій для прогнозування поширення диму, аналіз його складу та вплив на населення. Особливу важливість мають заходи з пом'якшення впливу пожеж на якість повітря, а також розробка стратегій захисту здоров'я вразливих груп населення.

Перспективними напрямками досліджень цього кластера є: оцінка забруднення повітря газами, твердими частками й аерозолями та моніторинг їх розповсюдження; дослідження наслідків забруднення для дихальної та серцево-судинної систем; роль чорного вуглецю у зміні клімату та вплив на якість повітря; дослідження утворення вторинних забруднювачів (тропосферного озону) через хімічні реакції після пожеж.

Сірий кластер містить 98 слів, а ключовим терміном, який має найбільшу кількість згадувань (3804) і силу зв'язку (29 250) є *climate change* («зміна клімату») (див. табл. 1). Цей кластер пов'язаний зі зміною клімату, історичними даними про пожежі та їхньою мінливістю. Перспективними напрямками цього кластера є: моделювання взаємозв'язків між кліматичними змінами та ризиком пожеж у різних регіонах (наприклад, в арктичних, бореальних і тропічних лісах) і прогнозування майбутніх сценаріїв пожеж на основі кліматичних моделей; аналіз впливу людської діяльності на пожежну активність у різні історичні періоди; вплив зміни землекористування на виникнення й інтенсивність пожеж; оцінка мінливості екосистем у відповідь на зміни клімату, пожеж та антропогенний вплив; вплив пожеж на глобальні та регіональні кліматичні цикли; аналіз переходу від звичайних до екстремальних режимів пожеж у відповідь на кліматичні та антропогенні зміни.

З огляду на військові дії на території нашої держави ключовими напрямками подальших досліджень мають стати: аналіз пожеж, викликаних бойовими діями (дослідження впливу артилерійських обстрілів, авіаударів і вибухів на виникнення пожеж); вивчення складу диму та токсичних газів

від лісових пожеж, спричинених військовими діями; аналіз довготривалих наслідків для екосистем і здоров'я; моніторинг пожеж, спричинених військовими діями; використання супутникових технологій для оцінки масштабів пожеж у зонах конфліктів; розробка методів екологічного відновлення територій, постраждалих від пожеж через військові дії.

Зазначені напрями подальших досліджень дадуть змогу створити ефективні системи управління пожежами, пом'якшення їх наслідків та адаптації до викликів майбутнього, зокрема, спричинених війною на території нашої держави.

Висновки

Методологія VOSviewer дала змогу ідентифікувати кластери знань, які демонструють, як різні напрями досліджень взаємодіють між собою, і окреслюють перспективи для подальшого розвитку цієї наукової галузі. Найбільшу питому вагу як за кількістю появ у тексті, так і за силою зв'язку має червоний кластер (екосистемні та біологічні аспекти лісових пожеж) – 43,8% та 44,4% відповідно, що вказує на його домінуючу роль у тематиці (зелений кластер – 14,5% та 15,8%, синій кластер – 14,3% та 13,6%, жовтий кластер – 10,8% та 9,5%, сірий кластер – 8,5% та 9,1%, фіолетовий кластер – 8,2% та 7,7%). Проведений аналіз наукових публікацій демонструє багатовимірність тематики досліджень, пов'язаних із лісовими пожежами. Пожежі розглядаються як важливий екологічний, технологічний, кліматичний і соціальний виклик, що потребує міждисциплінарного підходу для розуміння їхніх наслідків і розробки ефективних рішень. Комплексний підхід до вивчення лісових пожеж, інтеграція екологічних, технологічних і соціальних рішень, а також врахування сучасних викликів, як-от зміна клімату та військові конфлікти, сприятимуть розробці ефективних стратегій управління пожежами та їх наслідками, забезпечуючи стійкість екосистем і громад.

Список використаної літератури

Валерко Р., Герасимчук Л., Радучич А., Іваненко Р. Екосистемні послуги лісів філії «Словечанське лісове господарство» ДП «Ліси України». *Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти. Серія «Екологія. Публічне управління та адміністрування»*. 2023. № 3. С. 71–76. <https://doi.org/10.32782/2786-5681-2023-3.09>.

Валерко Р.А., Герасимчук Л.О. Оцінка стану лісових насаджень в умовах ДП «Зарічненське лісове господарство» як природного фактору стабілізації довкілля. *Вісник ХНАУ*. 2017. № 1. С. 172–178.

Герасимчук Л., Медведовський Є., Валерко Р. Державний нагляд (контроль) у сфері охорони, захисту, використання та відтворення лісів на території Житомирської області. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. № 4. С. 38–47. <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-4>.

Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Літвін А.В. Оцінка впливу на довкілля підприємств лісового господарства. New factors for the development of natural sciences in Ukraine and EU countries: Scientific monograph. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2023. С. 72–92. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-288-3-4>.

Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Станчик В.Б. Екологічний стан лісових екосистем дочірнього підприємства «Коростишівський лісгосп АПК» за показниками стану й динаміки лісового фонду. *Український журнал природничих наук*. 2023. № 5. С. 117–125. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.5.2023.13>.

Araújo F.D.C., Tng D.Y.P., Apgaua D.M.G., Coelho P.A., Pereira D.G.S., Santos R.M. Post-fire plant regeneration across a closed forest-savanna vegetation transition. *Forest Ecology and Management*. 2017. Vol. 400. P. 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.05.058>.

Asadollah S.B.H.S., Sharafati A., Motta D. Satellite-based ensemble intelligent approach for predicting forest fire: a case of the Hyrcanian forest in Iran. *Environ Sci Pollut Res*. 2024. Vol. 31. P. 22830–22846. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32615-4>.

Chavardes R., Daniels L. Altered mixed-severity fire regime has homogenised montane forests of Jasper National Park. *International Journal of Wildland Fire*. 2016. Vol. 25. <https://doi.org/10.1071/WF15048>.

Dhungana B.P., Chhetri V.T., Baniya C.B., Sharma S.P., Ghimire P., Vista S.P. Post-fire Effects on Soil Properties in High altitude Mixed-conifer Forest of Nepal. *Trees, Forests and People*. 2024. Vol. 17: 100633. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100633>.

Haydar M., Rafi Al H., Sadia H., Hossain T. Data driven forest fire susceptibility mapping in Bangladesh. *Ecological Indicators*. 2024. Vol. 166: 112264. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112264>.

Himanshu B., Aseesh P., Dinesh B., Sundriyal R.C. Loss of carbon stock in the forests of Uttarakhand due to unprecedented seasonal forest fires. *Frontiers in Forests and Global Change*. 2024. Vol. 7. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2024.1352265>.

Mohd A.K., Pritee S., Mohanasundari T. Analysing the escalation of forest fire in India: exploring causal factors and mitigation strategies. *Journal of Tropical Forest Science*. 2024. Vol. 36. № 2. P. 215–223. <https://doi.org/10.26525/jtfs2024.36.2.215>.

Noroozi F., Ghanbarian G., Safaeian R., Pourghasemi H.R. Forest fire mapping: a comparison between GIS-based random forest and Bayesian models. *Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*. 2024. Vol. 120. № 7. P. 6569–6592. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06457-9>.

Pati P.K., Kaushik P., Malasiya D., Ray T., Khan M.L., Khare P.K. Impacts of forest fire frequency on structure and composition of tropical moist deciduous forest communities of Bandhavgarh Tiger Reserve, Central India. *Trees, Forests and People*. 2024. Vol. 15: 100489. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100489>.

Pavel Al M.A., Marques M., Mukta K.N. Impact of forest fires on Portuguese forest ecosystem and its national emissions budget. *Indones. J. For. Res*. 2023. Vol. 11. P. 91–103. <https://doi.org/10.59465/ijfr.2024.11.1.91-103>.

Peris-Llopis M., Mola-Yudego B., Berninger F., Garcia-Gonzalo J., González-Olabarria J.R. Impact of species composition on fire-induced stand damage in Spanish forests. *Sci Rep*. 2024. Vol. 14: 8594. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59210-4>.

Roberts L.J., Burnett R., Fogg A. Fire and Mechanical Forest Management Treatments Support Different Portions of the Bird Community in Fire-Suppressed Forests. *Forests*. 2021. Vol. 12. № 2: 150. <https://doi.org/10.3390/f12020150>.

Sati V.P. Forest fires in the Indian Central Himalaya: major drivers, implications, and mitigation measures. *Environmental Hazards*. 2024. Vol. 23. № 4. P. 390–404. <https://doi.org/10.1080/17477891.2024.2304211>.

Smith J.E., Billmire M., French N.H., Domke G.M. Application of the wildland fire emissions inventory system to estimate fire emissions on forest lands of the United States. *Carbon Balance Manage*. 2024. Vol. 19. № 26. <https://doi.org/10.1186/s13021-024-00274-0>.

Tortorelli C.M., Young D.J.N., Reilly M.J., Butz R.J., Safford H.D., Venuti N.E., Welch K.R., Latimer A.M. Post-fire resurveys reveal predictability of long-term conifer recruitment in severely burned California dry forests. *Forest Ecology and Management*. 2024. Vol. 566: 122100. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122100>.

References

- Valerko, R., Herasymchuk, L., Raduchych, A., & Ivanenko, R. (2023). Ekosystemni posluhy lisiv filii "Slovechanske lisove hospodarstvo" DP "Lisy Ukrainy" [Ecosystem services of the forests of the Slovechne Forestry branch of the State Enterprise "Forests of Ukraine"]. *Naukovyi visnyk Vinnytskoi akademii bezpererвної osvity. Seriiia «Ekolohiia. Publichne upravlinnia ta administruvannia» [Scientific Bulletin of Vinnytsia Academy of Continuing Education. Series «Ecology. Public Administration»]*, 3, 71–76. <https://doi.org/10.32782/2786-5681-2023-3.09> [in Ukrainian].
- Valerko, R.A., & Herasymchuk, L.O. (2017). Otsinka stanu lisovykh nasadzhenn v umovakh DP "Zarichnenske lisove hospodarstvo" yak pryrodnoho faktor stabilizatsii dovkillia [The assessment of the state of forest plantations in the "Zarichnenske forestry" public enterprise as a natural factor of the environment stabilization]. *Visnyk kharkivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu [Bulletin of Kharkiv National Agrarian University]*, 1, 172–178 [in Ukrainian].
- Herasymchuk, L., Medvedovskyi, Ye., & Valerko, R. (2023). Derzhavnyi nahliad (kontrol) u sferi okhorony, zakhystu, vykorystannia ta vidtvorennia lisiv na terytorii Zhytomyrskoi oblasti [State supervision (control) in the sphere of protection, protection, use and reproduction of forests in the territory of Zhytomyr region]. *Problemy khimii ta staloho rozvytku [Problems of Chemistry and Sustainable Development]*, 4, 38–47. <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-4> [in Ukrainian].
- Herasymchuk, L., Valerko, R., & Litvin, A. (2023). Otsinka vplyvu na dovkillia pidpriemstv lisovoho hospodarstva [Environmental impact assessment of forestry enterprises]. New factors for the development of natural sciences in Ukraine and EU countries: Scientific monograph. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 72–92. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-288-3-4> [in Ukrainian].
- Herasymchuk, L.O., Valerko, R.A., & Stanchyk, V.B. (2023). Ekolohichni stan lisovykh ekosystem dochirnoho pidpriemstva "Korostyshivskiy lishosp APK" za pokaznykamy stanu y dynamiky lisovoho fondu [Environmental state of forest ecosystems of the subsidiary enterprise "Korostyshiv forest farm of agriculture" according to indicators of the state and dynamics of the forest fund]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychikh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 5, 117–125. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.5.2023.13> [in Ukrainian].
- Araújo, F.D.C., Tng, D.Y.P., Apgaua, D.M.G., Coelho, P.A., & Pereira, D.G.S., Santos, R.M. (2017). Post-fire plant regeneration across a closed forest-savanna vegetation transition. *Forest Ecology and Management*, 400, 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.05.058> [in English].
- Asadollah, S.B.H.S., Sharafati, A., & Motta, D. (2024). Satellite-based ensemble intelligent approach for predicting forest fire: a case of the Hyrcanian forest in Iran. *Environ Sci Pollut Res*, 31, 22830–22846. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32615-4> [in English].
- Chavardes, R., & Daniels, L. (2016). Altered mixed-severity fire regime has homogenised montane forests of Jasper National Park. *International Journal of Wildland Fire*, 25. <https://doi.org/10.1071/WF15048> [in English].
- Dhungana, B.P., Chhetri, V.T., Baniya, C.B., Sharma, S.P., Ghimire, P., & Vista, S.P. (2024). Post-fire Effects on Soil Properties in High altitude Mixed-conifer Forest of Nepal. *Trees, Forests and People*, 17: 100633. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100633> [in English].
- Haydar, M., Rafi, A.H., Sadia, H., & Hossain, T. (2024). Data driven forest fire susceptibility mapping in Bangladesh. *Ecological Indicators*, 166: 112264. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112264> [in English].
- Himanshu, B., Aseesh, P., Dinesh, B., & Sundriyal, R.C. (2024). Loss of carbon stock in the forests of Uttarakhand due to unprecedented seasonal forest fires. *Frontiers in Forests and Global Change*, 7. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2024.1352265> [in English].
- Mohd, A.K., Pritee, S., & Mohanasundari, T. (2024). Analysing the escalation of forest fire in India: exploring causal factors and mitigation strategies. *Journal of Tropical Forest Science*, 36 (2), 215–223. <https://doi.org/10.26525/jtfs2024.36.2.215> [in English].
- Noroozi, F., Ghanbarian, G., Safaeian, R., & Pourghasemi, H.R. (2024). Forest fire mapping: a comparison between GIS-based random forest and Bayesian models. *Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*, 120 (7), 6569–6592. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06457-9> [in English].
- Pati, P.K., Kaushik, P., Malasiya, D., Ray, T., Khan, M.L., & Khare, P.K. (2024). Impacts of forest fire frequency on structure and composition of tropical moist deciduous forest communities of Bandhavgarh Tiger Reserve, Central India. *Trees, Forests and People*, 15: 100489. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100489> [in English].

Pavel, Al.M.A., Marques, M., & Mukta, K.N. (2023). Impact of forest fires on Portuguese forest ecosystem and its national emissions budget. *Indones. J. For. Res.*, 11, 91–103. <https://doi.org/10.59465/ijfr.2024.11.1.91-103> [in English].

Peris-Llopis, M., Mola-Yudego, B., Berninger, F., Garcia-Gonzalo, J., & González-Olabarria, J.R. (2024). Impact of species composition on fire-induced stand damage in Spanish forests. *Sci Rep.*, 14: 8594. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59210-4> [in English].

Roberts, L.J., Burnett, R., & Fogg, A. (2021). Fire and Mechanical Forest Management Treatments Support Different Portions of the Bird Community in Fire-Suppressed Forests. *Forests*, 12 (2): 150. <https://doi.org/10.3390/f12020150> [in English].

Sati, V.P. (2024). Forest fires in the Indian Central Himalaya: major drivers, implications, and mitigation measures. *Environmental Hazards*, 23 (4), 390–404. <https://doi.org/10.1080/17477891.2024.2304211> [in English].

Smith, J.E., Billmire, M., French, N.H., & Domke, G.M. (2024). Application of the wildland fire emissions inventory system to estimate fire emissions on forest lands of the United States. *Carbon Balance Manage*, 19 (26). <https://doi.org/10.1186/s13021-024-00274-0> [in English].

Tortorelli, C.M., Young, D.J.N., Reilly, M.J., Butz, R.J., Safford, H.D., Venuti, N.E., Welch, K.R., & Latimer, A.M. (2024). Post-fire resurveys reveal predictability of long-term conifer recruitment in severely burned California dry forests. *Forest Ecology and Management*, 566, 122100. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122100> [in English].

Отримано: 31.01.2025

Прийнято: 13.02.2025



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 11
Український журнал природничих наук
№ 11

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

УДК 502.11:303.446
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.30>

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ УГРУПОВАНЬ ФЛОРИ ЗА ВПЛИВУ ПРОМИСЛОВОЇ РОЗРОБКИ СОКИРНИЦЬКОГО РОДОВИЩА ЦЕОЛІТІВ ХУСТЬКОГО РАЙОНУ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Т. М. Коткова¹, А. А. Котюк², О. В. Яременко³, С. В. Стоцька⁴

У статті наведено особливості видового розмаїття рослинного світу в чаші кар'єру Сокирницького родовища цеолітів Хустського району Закарпатської області, на ділянці зберігання відвалів верхнього родючого шару та верхніх пухких порід, а також у 300-метровій санітарно-захисній зоні родовища, зокрема й на ділянці розширення. Ділянка розширення родовища, що відведена під видобуток корисної копалини, належала лісовому фонду. У процесі зміни цільового призначення на землі із цільовим кодом 11.01 – для розміщення й експлуатації основних, підсобних і допоміжних будівель та споруд підприємствами, що пов'язано з користуванням надрами. Для впровадження планованої діяльності передбачено видалення зелених насаджень після зміни цільового призначення по всій площі ділянки (18,1253 га) та передача земельної ділянки в постійне користування Приватному акціонерному товариству «ЗАКАРПАТНЕРУДПРОМ». Видобуток цеолітів здійснюється відкритим (кар'єрним) способом. Це негативно позначається на стані біологічного розмаїття як ділянки, на якій здійснюють видобуток корисної копалини, так і ділянки зберігання відвалів та території, яка безпосередньо прилягає до неї в межах санітарно-захисної зони (СЗЗ).

¹ кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри геодезії та землеустрою
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail: tetjana.kotkova@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1785-7620

² доктор біологічних наук,
професор кафедри екології
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail: kotyuk-la@ukr.net
ORCID: 0000-0002-1934-4255

³ кандидат геологічних наук,
доцент кафедри геодезії та землеустрою
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail: olyaayaremenko72@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2882-4621

⁴ кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри технологій у рослинництві
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail: olegst1999@meta.ua
ORCID: 0000-0003-0751-7996

Встановлено біологічне розмаїття рослин ділянки, яка відведена під видобуток цеолітів і є гірничо освоєною та розташована в межах трансформованих угруповань. Екологічно значущі види замінюються більш стійкими видами, які зазвичай є рудеральними, адвентивними, а іноді навіть інвазивними.

Проектна ділянка, яка планується під подальший видобуток копалини, та ділянка чаші кар'єру Сокирницького родовища (ділянка, розташована між 8 і 11 розрізами) цеолітів Хустського району Закарпатської області представлені не дуже багатим фіторозмаїттям. Переважають малоцінні види або навіть агресивні та інвазійні, окремі з яких даній місцевості не притаманні. У процесі досліджень виявлено 22 види дендрофлори та 59 видів трав'янистих рослин, серед яких відсутні види, що мають соцологічну цінність і включені до червоного національного та регіонального переліків.

Під час геоботанічних досліджень встановлено, що серед досліджених угруповань лісової та чагарникової рослинності лише 6 можна вважати асоціаціями. Серед них чагарникове угруповання ліщинника барвінкового (*Coriletum (avellana) vincosum (minor)*), а також лісові угруповання асоціацій: грабово-ліщинний ліс барвінковий (*Carpinetum (betulus) Corileto (avellani) vincosum (minor)*), скельно-дубово-грабовий ліс барвінковий (*Querceto (petraea) – Carpinetum (betulus) vincosum (minor)*), скельно-дубово-грабовий ліс волосистоосоковий тощо.

Серед трав'янистих рослин, що зростають на ділянці відведення Сокирницького родовища, переважають інвазійні й агресивні види, як-от: *Erigeron annuus*, *Bidens frondosa*, *Galinsoga parviflora*, *Conyza canadensis*, *Xanthium strumarium*, *Impatiens parviflora*, *Setaria pumila*, *Solidago canadensis*, *Ajuga genevensis*, *Oxalis acetosella*, *Anemone nemorosa*, *Geum rivale*, *Caltha palustris*, *Rumex hydrolapathum*, інші.

Ключові слова: Сокирницьке родовище цеолітів, цеоліти, кар'єр, фіторізноманіття, адвентивні види, агресивні види.

STUDY OF FLORA COMMUNITIES UNDER THE IMPACT OF INDUSTRIAL MINING AT THE SOKYRNYTSIA ZEOLITE DEPOSIT IN THE KHUST DISTRICT OF THE ZAKARPATTIA REGION

T. M. Kotkova, L. A. Kotyuk, O. V. Yaremenko, S. V. Stotska

The article presents the characteristics of the species diversity of the plant world in the basin of the Sokyrnytsia zeolite deposit quarry in the Khust district of the Zakarpattia region. The study focuses on areas designated for storing topsoil and loose upper rock layers, as well as a 300-meter sanitary protection zone of the deposit, including the expansion area. The expansion area, initially part of the forest fund, was re-designated for mining purposes with the land-use code 11,01 – intended for the placement and operation of primary, auxiliary, and secondary facilities related to mineral extraction. For the implementation of the planned activities, the removal of green vegetation across the entire area of 18,1253 hectares was planned after the land's purpose was changed and transferred to the permanent use of PJSC "ZAKARPATTNERUDPROM". Zeolite extraction is conducted by open-pit (quarry) mining, which negatively impacts biodiversity on the mining area, the dump storage site, and the adjacent sanitary protection zone (SPZ).

The biological diversity of the plant species on the mining site, which is ecologically disturbed and located within transformed habitats, was assessed. Ecologically significant species are being replaced by more resilient ones, which are typically ruderal, adventive, or even invasive. The project site designated for further mineral extraction and the quarry basin of the Sokyrnytsia deposit (the area located between cross-sections 8 and 11) has limited phytodiversity. The flora is dominated by low-value, aggressive, and invasive (alien) species, some of which are not typical for this region. Research identified 22 species of dendroflora and 59 species of herbaceous plants, none of which hold conservation value or are included in national or regional Red Lists.

Geobotanical research revealed that among the studied forest and shrub communities, only six can be considered associations. These include a hazel-periwinkle shrub community (*Coriletum (avellana) vincosum (minor)*) and forest associations such as: hornbeam-hazel forest with periwinkle (*Carpinetum (betulus) Corileto (avellani) vincosum (minor)*), sessile oak-hornbeam forest with periwinkle (*Querceto (petraea) – Carpinetum (betulus) vincosum (minor)*), and sessile oak-hornbeam forest with hairy sedge, among others.

Among the herbaceous plants growing on the designated area of the Sokyrnytsia deposit, invasive and aggressive species predominate. These include *Erigeron annuus*, *Bidens frondosa*, *Galinsoga parviflora*, *Conyza canadensis*, *Xanthium strumarium*, *Impatiens parviflora*, *Setaria pumila*, *Solidago*

canadensis, Ajuga genevensis, Oxalis acetosella, Anemone nemorosa, Geum rivale, Caltha palustris, Rumex hydrolapathum, and others.

Key words: *Sokyrmysia zeolite deposit, zeolites, quarry, phytodiversity, adventive species, aggressive species.*

Вступ

Цеоліти (грец. *Zéō* – кипляю та *lithos* – камінь) – група близьких за складом мінералів вулканічно-осадового походження, каркасні алюмосилікати лужних і лужноземельних металів. Поширені більш ніж у 40 країнах світу, головним чином у низькотемпературних гідротермальних жилах і тріщинах ефузивних порід (Цеоліти, 2024).

Усього у світі відомо приблизно 1 000 великих (із запасами понад 105 т) родовищ. Родовища цеолітів відомі в Ісландії, Новій Зеландії, США, Японії, на Кавказі. Останнім часом відкрито промислові родовища цеолітових порід нового типу. Вони утворились в екзогенних умовах як результат перетворення вулканічних туфів і попелу давніх вулканів у морських умовах. Прикладом є родовища у США, Східній Африці, Японії, Україні (Закарпаття). Світові запаси цеолітової сировини – декілька десятків мільярдів тонн. Основні запаси (по 10–20 млрд т) – у США, Японії. В Україні поклади цеолітів знаходяться в Карпатській складчастій області (2 родовища), окремі поклади – у Кримській складчастій області. Загальні запаси цеолітвмісних туфів для відкритої розробки – 1 млрд т (Цеоліти природні, 2024).

Китай є найбільшим виробником цеолітів (66,7%), за ним слідує Південна Корея (7%), Японія (5%), Йорданія (4,7%), Туреччина (3,3%), Росія (2,8%), США (2,0%) та інші країни (8,5%). За прогнозом аналітиків, у найближчі роки світовий ринок виробництва природного цеоліту буде зростати не менш ніж на 10–15% на рік (Natural ..., 2024).

Цеоліти використовують як адсорбенти, йонообмінники, каталізатори (Іваненко та ін., 2020; Цеоліти, 2024) у різних галузях промисловості та сільського господарства під час крекінгу нафти для розділення газових сумішей, для осушення газів і очищення природних вод; у виробництві полімерних композиційних матеріалів (Мельник, 2024), для вилучення з повітря кисню й азоту, необхідних для виробництва аміаку й аміачної селітри, для вилучення ізотопів стронцію та цезію з відходів атомної промисловості, для очищення води (Derbe et al.,

2021; Мельник та ін., 2024). Міжнародне агентство з дослідження раку (IARC) класифікувало цеоліти як нетоксичні продукти, а Управління з контролю за продуктами й ліками (FDA) класифікувало їх як безпечні для споживання людиною (Cataldo et al., 2021). У сільському господарстві та відновлювальному землеробстві цеоліти застосовують для підвищення родючості ґрунтів, затримки вологи (Шквірко та ін., 2019), покращення структури екосистеми мікроорганізмів, запобігання вимиванню добрив, як добавку в корм тваринам (забезпечує високий приріст молодняку, підвищує несучість курей), зв'язувальні речовини для мікотоксинів і пакувальних матеріалів для харчових продуктів (Eroglu et al., 2017; Cataldo et al., 2021).

Закарпатська область багата на різноманітні корисні копалини. Розвідано приблизно 220 родовищ, у яких наявні 30 матеріалів, що мають промислове значення: кольорові, рідкісні та дорогоцінні метали (золото, срібло, ртуть, германій, цинк, свинець тощо), неметали (барит, цеоліт, бентоніт, доломіт, алуніт), сіль, вугілля, газ, будівельні матеріали (мармур, базальт, андезит, керамзит, цеоліт тощо), мінеральні та термальні води. Формування більшості родовищ корисних копалин пов'язано з останнім геологічним етапом розвитку Карпат (вулканічні формування) (Доповідь ..., 2024).

Розроблення родовищ корисних копалин супроводжується порушенням гомеостазу екосистеми, вносить зміни в її видовий склад.

Матеріал і методи

Дослідження здійснювали маршрутним польовим методом відповідно до попередньо виконаних тахеометричних знімів замкнутого ходу. Використано загальнонаукові та спеціальні методи, зокрема метод підрахунку та метод порівняння і групування. Вплив Сокирицького родовища цеолітів Хустського району Закарпатської області оцінено відповідно до Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» (Доповідь ..., 2024). Проводились польові спостереження, лабораторне визначення зібраних зразків рослин здійснювали з використанням визначників (Протопопова і Морозюк,

2007; Атлас ..., 2022; Електронна ..., 2025; Українська ..., 2025). Назви таксонів встановлювали за сучасними онлайн-базами даних (IPNI, 2025; World ..., 2025). Для географічної прив'язки місця розташування родовища використовували картографічний метод. Експедиційні дослідження флори здійснено впродовж 2024 р., з березня по травень, камеральні й аналітичні роботи – у травні 2024 р.

Дослідження впливу планової діяльності цього родовища на флору та фауну є складовою частиною проекту Приватного акціонерного товариства (далі – ПрАТ) «ЗАКАРПАТНЕРУДПРОМ» щодо проведення дослідження впливу планованої діяльності на біоту, що пов'язаний зі зміною цільового призначення та подальшою вирубкою зелених насаджень земельної ділянки площею 18,1253 га за кадастровим номером 2125387400:04:001:0003, яка перебуває в державній власності, категорія – Землі лісогосподарського призначення, призначення – 09.01 Для ведення лісового господарства і пов'язаних із ним послуг. Планований вид цільового призначення земель – для розміщення й експлуатації основних, підсобних і допоміжних будівель і споруд підприємствами, що пов'язані з користуванням надрами, а саме для видобування цеолітів Сокирицького родовища (ділянка, розташована між 8 та 11 розрізами) цеолітів, яке розташоване на відстані приблизно 240 м на

північний схід від с. Сокириця Хустського району Закарпатської області (рис. 1).

Мета дослідження – вивчення процесів розвитку та функціонування біоценозу в межах впливу кар'єру з видобутку цеолітів Сокирицького родовища, яке розташоване на відстані приблизно 240 м на північний схід від с. Сокириця Хустського району Закарпатської області.

Результати і обговорення

Село Сокириця Хустського району Закарпатської області розташоване в зоні, що за загальними ботаніко-географічними рисами рослинного покриву належить до Карпатської підпровінції Середньоевропейської провінції Європейської широколистяної області.

Лісовий покрив сформований в основному грабом звичайним (*Carpinus betulus* L.), в'язом шорстким, або ільмом (*Ulmus glabra* Huds.), буком звичайним, або європейським (*Fagus sylvatica* L.) (рис. 2), ялиною європейською (*Picea abies* (L.) H. Karst.), ялицею білою (*Abies alba* Mill.), дубом звичайним (*Quercus robur* L.) з домішкою явора (білого клена) (*Acer pseudoplatanus* L.), ясеня звичайного (*Fraxinus excelsior* L.) та інших цінних порід.

Ліси Закарпатської області розташовані в різних висотних зонах. Починаючи від Притисянської низовини (105–150 м над рівнем моря), ліси в області поширені до полонин (1 200–1 700 м).



Рис. 1. Сокирицьке родовище (ділянка, розташована між 8 та 11 розрізами) цеолітів ПрАТ «ЗАКАРПАТНЕРУДПРОМ» (загальний вигляд кар'єру)



Рис. 2. Угруповання граба звичайного (*Carpinus betulus*) (А) та бука звичайного, або європейського (*Fagus sylvatica*) (Б) у 300-метровій санітарно-захисній зоні Сокирницького родовища цеолітів Хустського району Закарпатської області

Поблизу Сокирницького кар'єру, що належить ПрАТ «ЗАКАРПАТНЕРУДПРОМ», ліси розташовані на висоті приблизно 300 м над рівнем моря, що наочно демонструє ландшафтна карта із зображенням 300-метрової горизонталі (рис. 3).

У низині переважають островні ліси дуба звичайного (*Quercus robur* L.) із грабом звичайним (*Carpinus betulus* L.), рідше з ясенем звичайним (*Fraxinus excelsior* L.), трапляються окремі локалітети береста, або в'яза граболистого (*Ulmus minor* Mill.), клена



Рис. 3. Ландшафтна карта із зображенням висоти 300 м над рівнем моря, що проходить поблизу Сокирницького кар'єру цеолітів Хустського району Закарпатської області (А), та ж місцевість на гугл-карті (Б) (<https://www.google.com/maps/@48.1431631,23.4050793,2022m/data>)

польового (*Acer campestre* L.), вільхи клейкої (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), липи серцелистої (*Tilia cordata* Mill.), поодинокі різних видів вербових та інших деревних і чагарникових порід.

Загалом у Закарпатті на окремих незначних площах ростуть низькопродуктивні та нетоварні насадження тополі канадської (*Populus canadensis* Moench.), яка вважається природним гібридом тополі дельтоподібної та чорної. У передгір'ях на висоті 200 і більше метрів сконцентровані ліси з дуба скельного (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) із грабом звичайним і окремими екземплярами бука (*Fagus*

sylvatica L.), з домішкою яблуні лісової (*Malus sylvestris* (L.) Mill.), груші звичайної (*Pyrus communis* L.), черешні пташиної (*Prunus avium* (L.) L.), ялини європейської (*Picea abies* (L.) H. Karst.), робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia* L.) (рис. 4), деяких видів кленів і липи. На північних схилах переважають букові та грабово-букові ліси

На вирубках і лісосіках та в молодняках трапляються бузина червона (*Sambucus racemosa* L.) та чорна (*S. nigra* L.), крушина ламка (*Frangula alnus* Mill.), ліщина звичайна (*Corylus avellana* L.). Характерним типом лісу тут є волога чиста бучина, незначне поширення має і волога чиста

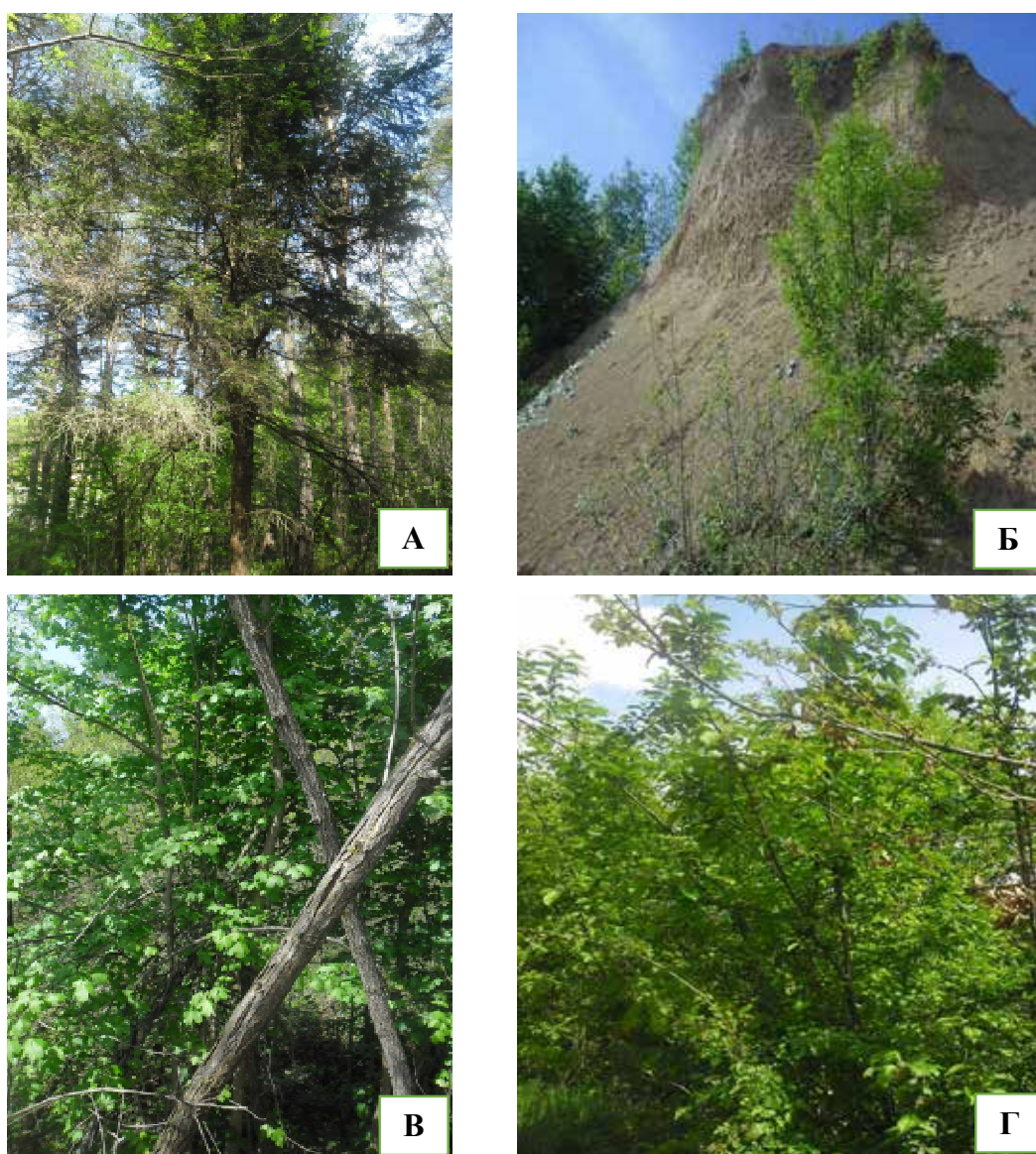


Рис. 4. Рослини санітарно-захисної зони Сокирницького родовища цеолітів Хустського району Закарпатської області: А – ялина європейська (*Picea abies*), Б – робінія псевдоакація (*Robinia pseudoacacia*), В – глід колючий (*Crataegus oxyacantha*), Г – яблуня лісова (*Malus sylvestris*)

субучина. Букові деревостани характеризуються високою продуктивністю та біологічною стійкістю.

Ближче до підніжжя гір у домішці букових лісів трапляються граб звичайний, дуб скельний, клен гостролистий (*Acer platanoides* L.), ясен звичайний, вище – в'яз шорсткий, або ільм (*Ulmus glabra* Huds.).

Справжній другий ярус у дібровах формують поодинокі екземпляри клена польового (*Acer campestre* L.) і гостролистого, або звичайного (*A. platanoides* L.), трапляються липа серцелиста, в'яз шорсткий (*Ulmus glabra* Huds.), гладкий (*U. laevis* Pall.) та карликовий (*U. pumila* L.).

Видове розмаїття рослинного світу на земельній ділянці, що планується відвести під планову діяльність Сокириницького родовища (ділянка, розташована між 8 та 11 розрізами), не дуже багате. Переважають малоцінні види, навіть агресивні й інвазійні (чужорідні), окремі з яких для даної місцевості не характерні.

У процесі досліджень виявлено 22 види дендрофлори та 59 видів трав'янистих рослин, серед яких відсутні види, що мають соцологічну цінність і включені до червоного національного та регіонального переліків (Червона ..., 2009; Доповідь ..., 2024) (табл. 1).

Таблиця 1

Видове розмаїття флори, виявленої на ділянці родовища
(ділянка, розташована між 8 та 11 розрізами) цеолітів

Родина	Вид
1	2
Види дендрофлори	
Вербові (Salicaceae)	Тополя тремтяча (<i>Populus tremula</i> L.)
	Тополя біла (<i>Populus alba</i> L.)
	Верба біла (<i>Salix alba</i> L.)
	Верба козяча (<i>Salix caprea</i> L.)
	Верба попеляста (<i>Salix cinerea</i> L.)
Соснові (Pinaceae)	Сосна звичайна (<i>Pinus sylvestris</i> L.)
В'язові (Ulmaceae)	Ялина європейська (<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst.)
	В'яз шорсткий (гірський) (<i>Ulmus glabra</i> Huds.)
Розові (Rosaceae)	Яблуня лісова (<i>Malus sylvestris</i> Mill.)
	Глід український (<i>Crataegus ucrainica</i> Pojark.)
	Глід колючий (<i>Crataegus oxyacantha</i> L.)
	Ожина сиза, або звичайна (<i>Rubus caesius</i> L.)
	Ожина шорстка (<i>Rubus hirtus</i> Hegetschw)
	Малина звичайна (<i>Rubus idaeus</i> L.)
Букові (Fagaceae)	Горобина звичайна (<i>Sorbus aucuparia</i> L.)
	Дуб звичайний, або черешчатий (<i>Quercus robur</i> L.)
	Дуб скельний (<i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl.)
Березові (Betulaceae)	Бук звичайний (<i>Fagus sylvatica</i> L.)
	Граб звичайний (<i>Carpinus betulus</i> L.)
Бобові (Fabaceae або Leguminosae)	Ліщина звичайна (<i>Corylus avellana</i> L.)
Сапіндові (Sapindaceae)	Робінія псевдоакація (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)
Трав'янисті рослини	
Осокові (Cyperaceae)	Осока рідкоколоса, осока рідковолоса (<i>Carex remota</i> L.)
	Осока волотиста (<i>Carex paniculata</i> L.)
Злакові, або тонконогові (Poaceae)	Мишій сизий (<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Roem. & Schult.)
	Просянка розлога (<i>Millium effusum</i> L.)
Розові (Rosaceae)	Гадючник в'язолистий (<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim)
	Суниця лісова (<i>Fragaria vesca</i> L.)
	Гравілат річковий (<i>Geum rivale</i> L.)
	Гребінник звичайний (<i>Geum urbanum</i> L.)

Продовження таблиці 1

1	2
Макові (Papaveraceae)	Чистотіл звичайний (<i>Chelidonium majus</i> L.)
Холодкові (Asparagaceae)	Ряст порожнистий (<i>Corydalis cava</i> (L.) Schweigg. & Korte.)
Подорожникові (Plantaginaceae)	Купина запашна (<i>Polygonatum odoratum</i> (Mill.) Druce)
	Подорожник ланцетолистий (<i>Plantago lanceolata</i> L.)
	Подорожник великий (<i>Plantago major</i> L.)
	Вероніка лікарська (<i>Veronica officinalis</i> L.)
	Вероніка дібровна (<i>Veronica chamaedrys</i> L.)
Барвінкові (Amaranthaceae)	Барвінок звичайний (<i>Vinca minor</i> L.)
Окружкові (Asteraceae)	Яглиця звичайна (<i>Aegopodium podagraria</i> L.)
Глухокропівові (Lamiaceae)	Горлянка женецька (<i>Ajuga genevensis</i> L.)
	Зеленчук жовтий (<i>Lamium galeobdolon</i> (L.) L.)
	Розхідник звичайний (<i>Glechoma hederacea</i> L.)
Квасеницеві (Oxalidaceae)	Квасениця звичайна (<i>Oxalis acetosella</i> L.)
Холодкові (Asparagaceae)	Конвалія звичайна (<i>Convallaria majalis</i> L.)
Жовтецеві (Ranunculaceae)	Анемона дібровна (<i>Anemone nemorosa</i> L.)
	Жовтець бульбистий (<i>Ranunculus bulbosus</i> L.)
	Калюжниця болотяна (<i>Caltha palustris</i> L.)
	Пшінка весняна (<i>Ficaria verna</i> Huds.)
Ситникові (Juncaceae)	Ситник скупчений (<i>Juncus conglomeratus</i> L.)
Бальзамінові (Balsaminaceae)	Розрив-трава дрібноцвіта (<i>Impatiens parviflora</i> DC.)
Айстрові (Asteraceae), або складноцвіті (Compositae)	Золотушник канадський (<i>Solidago canadensis</i> L.)
	Пижмо звичайне (<i>Tanacetum vulgare</i> L.)
	Полин гіркий (<i>Artemisia absinthium</i> L.)
	Череда листяна (<i>Bidens frondosa</i> L.)
	Злинка канадська (<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist.)
	Деревій звичайний (<i>Achillea millefolium</i> L.)
	Стенактис однорічний (<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.)
	Будяк пониклий (<i>Carduus nutans</i> L.)
	Кульбаба лікарська (<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.)
	Підбіл звичайний (<i>Tussilago farfara</i> L.)
	Нетреба звичайна (<i>Xanthium strumarium</i> L.)
	Галінсога дрібноквіткова (<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.)
Гречкові (Polygonaceae)	Щавель довголистий (<i>Rumex longifolius</i> DC.)
	Щавель прибережний (<i>Rumex hydrolapathum</i> Huds.)
Молочайні (Euphorbiaceae)	Молочай кипарисовий (<i>Euphorbia cyparissias</i> L.)
Фіалкові (Violaceae)	Фіалка польова (<i>Viola arvensis</i> L.)
Кропівові (Urticaceae)	Кропива дводомна (<i>Urtica dioica</i> L.)
Денніштедієві (Dennstaedtiaceae)	Орляк звичайний (<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn)
Болотянопапоротеві (Thelypteridaceae)	Букова папороть лісова, фегоптерис зв'язаний (<i>Phegopteris connectilis</i> (Michx.) Watt)
Гвоздиківі (Caryophyllaceae)	Смілка червона (<i>Silene dioica</i> (L.) Clairv.)
Частухові (Alismataceae)	Частуха звичайна (<i>Alisma plantago-aquatica</i> L.)
Капустяні (Brassicaceae)	Зубниця бульбиста (<i>Cardamine bulbifera</i> (L.) Crantz)
	Грицики звичайні (<i>Capsella bursa-pastoris</i> Medik.)
	Гикавка звичайна (<i>Berteroa incana</i> (L.) DC.)
Геранієві (Geraniaceae)	Грабельки звичайні (<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hér)
Сфагнові (Sphagnaceae)	Сфагнум, або торфовик звичайний (<i>Sphagnum centrale</i>)
Пілезійові (Pylasiaceae)	Пір'їтник гребінчастий (<i>Ptilium crista-castrensis</i> (Hedw.) De Not.)
Сфагнові (Sphagnaceae)	Сфагнум болотний (<i>Sphagnum palustre</i> L.)
	Сфагнум центральний (<i>Sphagnum centrale</i> L. C.O.E. Jensen)

1	2
Політрихові (Polytrichaceae)	Зозулин льон звичайний (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.)
	Зозулин льон ялівцевий (<i>Polytrichum juniperium</i> Hedw.)

Під час геоботанічних досліджень установлено, що серед описаних угруповань лісової та чагарникової рослинності лише 6 можна вважати асоціаціями. Це типові для передгір'я Вулканічного хребта рослинні угруповання, які сформувалися на місці вирубаних природних лісів, а тому не мають соцологічної цінності. Серед них чагарникове угруповання (ліщинник барвінковий (*Corileto (avellana) vincosum (minor)*)), а також лісові угруповання асоціацій, як-от: грабово-ліщиновий ліс барвінковий (*Carpinetum (betulus) Corileto (avellani) vincosum (minor)*), скельнодубово-грабовий ліс барвінковий (*Querceto (petraea)-Carpinetum (betulus) vincosum (minor)*), скельнодубово-грабовий ліс волосистоосоковий (*Querceto (petraea)-Carpinetum (betulus) caricosum (pillose)*), скельнодубовий ліс волосистоосоковий (*Querceto (petraea) caricosum (pillose)*), скельнодубо-грабовий ліс ожино-вий (*Querceto (petraea)-Carpinetum (betulus) rubosum (hirtus)*) (рис. 5).

Серед них можна виділити такі деревні породи, як: в'яз шорсткий (гірський) (*Ulmus glabra* Huds.), клен ясенolistий (*Acer*

negundo L.), клен італійський (*Acer opalus* Mill.) (рідше), верба біла (*Salix alba* L.), робінія псевдоакація (*Robinia pseudoacacia* L.), в'яз карликовий (*U. Pumila* L.), глід колючий (*Crataegus oxyacantha* L.) і український (*C. ucrainica* Pojark.), яблуня лісова (*Malus sylvestris* (L.) Mill.).

Рідше в угрупованнях трапляються сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.), ялина європейська (*Picea abies* (L.) H. Karst.), бук звичайний (*Fagus sylvatica* L.), дуб звичайний, або черешчатий (*Quercus robur* L.), ліщина звичайна (*Corylus avellana* L.), горобина звичайна (*Sorbus aucuparia* L.), осика, або тополя тремтяча (*Populus tremula* L.).

Серед трав'янистих рослин, що зростають на ділянці відведення Сокирницького родовища (ділянка, розташована між 8 і 11 розрізами) цеолітів і в санітарно-захисній зоні підприємства, переважають інвазійні й агресивні види, як-от: злинка однорічна, або стенактис однорічний (*Erigeron annuus* (L.) Pers.), череда листяна (*Bidens frondosa* L.), галінсога дрібноквітова, або незбутниця дрібноцвіта (*Galinsoga parviflora* Cav.), злинка канадська (*Erigeron canadensis* L.),



Рис. 5. Грабово-ліщиновий ліс барвінковий (*Carpinetum (betulus) Corileto (avellani) vincosum (minor)*) у 20 м від Сокирницького родовища (ділянка, розташована між 8 та 11 розрізами) цеолітів, скельнодубо-грабовий ліс ожино-вий (*Querceto (petraea)-Carpinetum (betulus) rubosum (hirtus)*) на уступах кар'єру

пушняк канадський (*Conyza canadensis* (L.) Cronquist), нетреба звичайна (*Xanthium strumarium* L.), розрив-трава дрібноцвіта (*Impatiens parviflora* DC.), мишій сизий (*Setaria pumila* (Poir.) Roem. & Schult.), золотушник канадський (*Solidago canadensis* L.), горлянка женеvська (*Ajuga genevensis* L.), квасениця звичайна (*Oxalis acetosella* L.), анемона дібровна (*Anemone nemorosa* L.), гравілат річковий (*Geum rivale* L.), калюжниця болотяна (*Caltha palustris* L.), щавель прибережний (*Rumex hydrolapathum* Huds.) і довголистий (*R. longifolius* DC.) (трапляється вздовж річка Галлони – притоки річки Байлової), зеленчук жовтий (*Lamium galeobdolon* (L.) L.), розхідник звичайний (*Glechoma hederacea* L.), пижмо звичайне (*Tanacetum vulgare* L.), полин гіркий (*Artemisia absinthium* L.), молочай кипарисовий (*Euphorbia cyparissias* L.), деревій звичайний (*Achillea millefolium* L.), фіалка польова (*Viola arvensis* Murray), кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), смілка червона (*Silene dioica* (L.) Clairv.), частуха звичайна (*Alisma plantago-aquatica* L.), зубниця бульбиста (*Cardamine bulbifera* (L.) Crantz), ряст порожнистий (*Corydalis cava* (L.) Schweigg. & Korte.), пшінка весняна (*Ficaria verna* Huds.).

Дуже рідко у травостоях трапляються гикавка звичайна, або сіра (*Berteroa incana* (L.) DC.), вероніка лікарська (*Veronica officinalis* L.), будяк пониклий (*Carduus nutans* L.), гребінник звичайний, або гравілат міський (*Geum urbanum* L.), грабельки звичайні (*Erodium cicutarium* (L.) L'Her.).

Зі спорових рослин на території виробничої діяльності Сокирницького родовища (ділянка, розташована між 8 і 11 розрізами) виявлено орляк звичайний (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn.), букову папороть лісову (фетоптерис зв'язаний) (*Phegopteris connectilis* (Michx.) Watt); мохи: сфагнум центральний (*Sphagnum centrale* L. C.O.E. Jensen), сфагнум болотний (*Sphagnum palustre* L.), пір'їник гребінчастий (*Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not.), зозулин льон звичайний (*Polytrichum commune* Hedw.), зозулин льон ялівцевий (*Polytrichum juniperium* Hedw.) (рис. 6).

На кам'янисто-піщаних розсипах «стінок» кар'єру рослинність майже відсутня. Однак на окремих ділянках були помічені молоді екземпляри сосни звичайної, що ростуть поодинокі, на деякій відстані одна від одної (див. рис. 4-Б). Із трав'янистих рослин у таких дуже зріджених угрупованнях трапляються рослини костриці, або вів-

сяниці сизої (*Festuca glauca* Vill.), атрофовані екземпляри хаменерію, або іван-чаю (*Chamaenerium angustifolium* (L.) Holub).

На північ від уже освоєної ділянки Сокирницького родовища (ділянка, розташована між 8 і 11 розрізами) цеолітів росте деревно-кущова рослинність, що складається з інвазійних видів, як-от робінія псевдоакація, в'яз низький.

Поблизу самого кар'єру та майбутньої ділянки розширення планової діяльності Сокирницького родовища (ділянка, розташована між 8 і 11 розрізами) цеолітів ПрАТ «ЗАКАРПАТНЕРУДПРОМ» і в санітарно-захисній зоні родовища рослинні угруповання, занесені до Зеленої книги України, відсутні.

Рослинні формації, які перелічені в Зеленій книзі України, що затверджена наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України «Про затвердження переліків рідкісних і таких, що перебувають під загрозою зникнення, та типових природних рослинних угруповань, які підлягають охороні і заносяться до Зеленої книги України, та природних рослинних угруповань, які вилучені із Зеленої книги України» № 368 від 17 грудня 2020 р., а також ті, що занесені до Резолюції 4 Бернської конвенції та Червоної книги України, на території планової діяльності не виявлено (Офіційні ..., 2012; Про затвердження ..., 2021).

Висновки

1. Через тривалу діяльність Сокирницького родовища з видобутку цеолітів Закарпатської області рослинні угруповання зазнали змін.

2. На ділянці родовища, ділянці складування верхнього родючого шару й у 300-метровій санітарно-захисній зоні рослинний світ збіднений.

3. Під час геоботанічних досліджень установлено, що серед угруповань лісової та чагарникової рослинності лише 6 можна вважати асоціаціями. Серед них таке чагарникове угруповання, як ліщинник барвінковий (Coriletum (avellana) vincosum (minor)), а також лісові угруповання таких асоціацій, як грабово-ліщинний ліс барвінковий (Carpinetum (betulus) Corileto (avellani) vincosum (minor)), скельнодубово-грабовий ліс барвінковий (Querceto (petraea) – Carpinetum (betulus) vincosum (minor)), скельнодубово-грабовий ліс волостоосоковий тощо.

4. Серед трав'янистих рослин, що виявлені в зоні дослідження, переважають злаки однорічна, або стенокис одно-

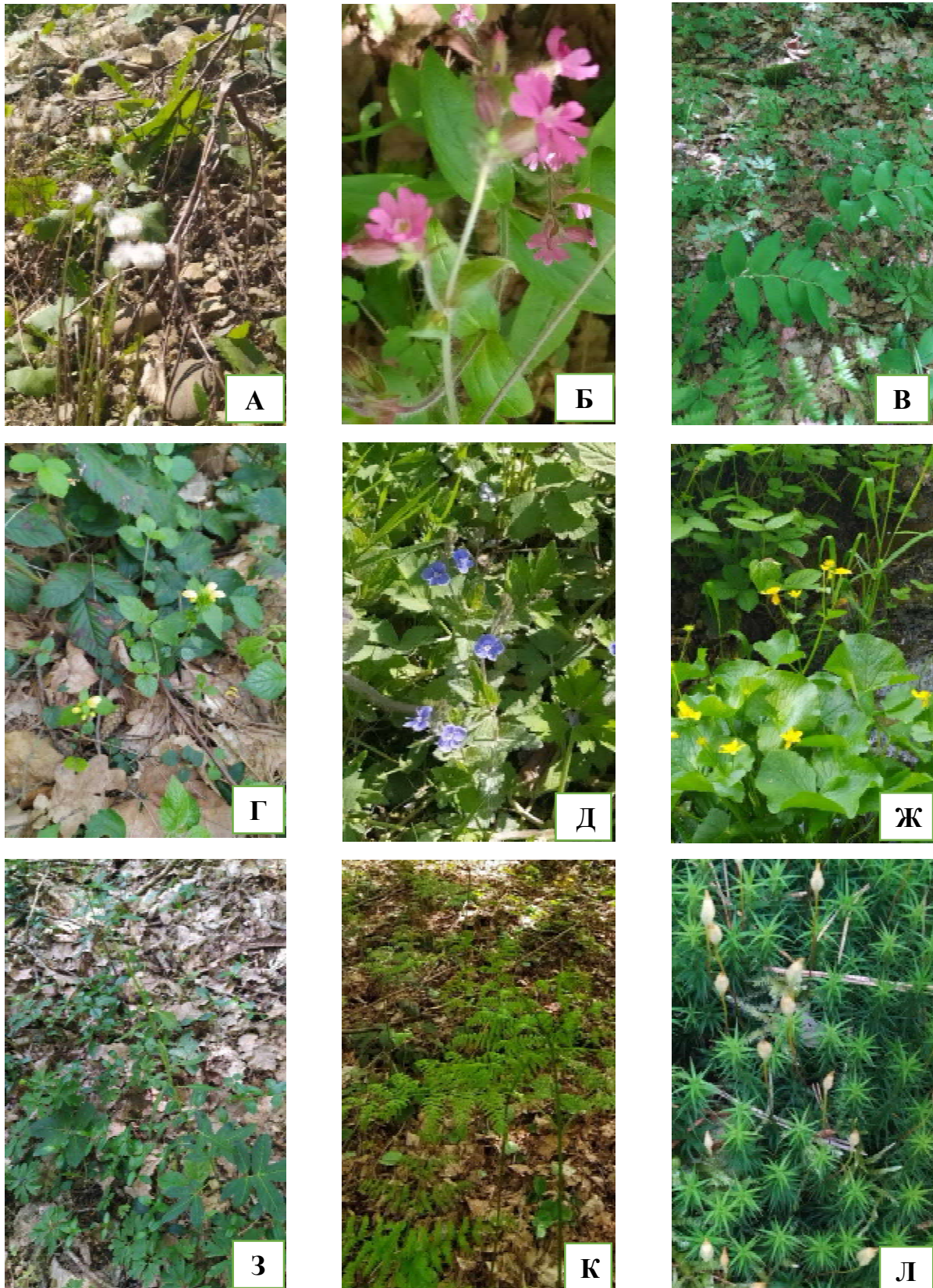


Рис. 6. Трав'янисті рослини ділянки відведення Сокирницького родовища:
А – *Tussilago farfara*, Б – *Silene dioica*, В – *Polygonatum odoratum*, Г – *Lamium galeobdolon*, Д – *Veronica officinalis*, Ж – *Caltha palustris*, З – *Cardamine bulbifera*,
К – *Pteridium aquilinum*, Л – *Polytrichum juniperium*

річний (*Erigeron annuus*), череда листяна (*Bidens frondosa*), галінсога дрібноквіткова, або незбутниця дрібноцвіта (*Galinsoga parviflora*), злинка канадська (*Erigeron canadensis*), нетреба звичайна (*Xanthium strumarium*), розрив-трава дрібноцвіта (*Impatiens parviflora*), мишій сизий (*Setaria pumila*), золотушник канадський (*Solidago canadensis*), горлянка женецька (*Ajuga genevensis*), квасениця звичайна (*Oxalis acetosella*), анемона дібровна (*Anemone*

nemorosa), гравілат річковий (*Geum rivale*), калюжниця болотяна (*Caltha palustris*) і щавель прибережний.

5. На території, яка вже зазнала антропогенного впливу, по краю кар'єру та на ділянках руху транспорту, прилеглих ділянках, де ще виробка не відбувалась, у межах санітарно-захисної зони види, занесені до Червоної та Зеленої книг України, які становлять біологічну чи екологічну цінність, нами не виявлені.

Список використаної літератури

- Атлас трав'яних біотопів України / за ред. А.А. Куземко. Чернівці : Друк-Арт, 2022. 244 с.
- Доповідь про стан навколишнього природного середовища Закарпатської області за 2023 р. / Закарпатська обласна державна адміністрація, департамент екології та природних ресурсів [Електронний ресурс]. URL: https://ecozakarpat.gov.ua/?page_id=308 (дата звернення: 24.01.2025).
- Електронна база рослин ПЗФ України [Електронний ресурс]. URL: <http://www.ieenas.org/p/> (дата звернення: 24.01.2025).
- Іваненко О.І., Крисенко Д.А., Крисенко Т.В., Тобілко В.Ю. Використання природного цеоліту Сокириницького родовища для отримання оксидно-марганцевого каталізатора окислення монооксиду вуглецю. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2020. Вип. 3(74). С. 26–37.
- Мельник А.І. Полімерний композит з використанням природного цеоліту. *Science and education in the third millennium: Information Technology, Education, Law, Psychology, Social Sphere, Management* : International collective monograph / editorial committee : J. Niczyporuk, O. Batiuk. Lublin, Polska : Institute of Public Administration Affairs, 2024. С. 275–296. URL: <https://doi.org/10.5281/ZENODO.11406888>.
- Мельник А.І., Свідерський В., Береговий Т. Використання перліту та цеоліту як наповнювачів акрилових композитів. *Композиційні матеріали* : матеріали VIII Міжнародної наукової WEB-конференції. Київ, 2024. С. 103–107 [Електронний ресурс]. URL: <https://cmmiwc.kpi.ua/> (дата звернення: 25.01.2025).
- Офіційні переліки регіонально рідкісних рослин адміністративних територій України : довідкове видання / уклад. : Т.Л. Андрієнко, М.М. Перегрим. Київ : Альтерпрес, 2012. 148 с.
- Про затвердження видів рослин та грибів, що заносяться до Червоної книги України (рослинний світ), та видів рослин та грибів, що виключені із Червоної книги України (рослинний світ) : наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 15.02.2021 р. № 111 [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0370-21#Text> (дата звернення: 24.01.2025).
- Протопопова В.В., Морозюк С.С. Трав'янисті рослини України : навчальний посібник. Тернопіль : Навчальна книга – Богдан, 2007. 216 с.
- Українська інформаційна мережа біорізноманіття – Ukrainian Biodiversity Information Network [Електронний ресурс]. URL: <https://ukrbn.com/index.php?action=about&lang=2> (дата звернення: 24.01.2025).
- Цеоліти [Електронний ресурс]. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki> (дата звернення: 24.01.2025).
- Цеоліти природні [Електронний ресурс]. URL: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article> (дата звернення: 24.01.2025).
- Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я.П. Дідуха. Київ : Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
- Шквірко О.М., Тимчук І.С., Мальований М.С. Осад стічних вод – компонент субстрату для проведення біологічної рекультивациі земель / О.М. Шквірко та ін. *Водопостачання та водовідведення: проектування, будова, експлуатація, моніторинг* : матеріали 3-ї Міжнародної науково-практичної конференції. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2019. С. 250–251.

Cataldo E., Fucile M., Mattii G.B. A Review: Soil management, sustainable strategies and approaches to improve the quality of modern viticulture. *Agronomy*. 2021. Vol. 11. P. 2359. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112359>.

Derbe T., Temesgen S., Bitew M. A Short review on synthesis, characterization, and applications of zeolites. *Adv. Mater. Sci. Eng.* 2021. Vol. 1. P. 1–17. <https://doi.org/10.1155/2021/6637898>.

International Plant Names Index [Електронний ресурс]. URL: <https://www.ipni.org/n/776622-1> (дата звернення: 24.01.2025).

Eroglu N., Emekci M., Athanassiou C.G. Applications of natural zeolites on agriculture and food production. *J. Sci. Food Agric.* 2017. Vol. 97. P. 3487–3499. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8312>.

Natural Zeolites: 2024. World Market Review and Forecast to 2033 [Електронний ресурс]. URL: <https://mcgroup.co.uk/researches/zeolites> (дата звернення: 24.01.2025).

World Flora Onlin [Електронний ресурс]. URL: <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000930752> (дата звернення: 24.01.2025).

References

Kuzemko, A.A. (ed.) (2022). *Atlas travianykh biotopiv Ukrainy* [Atlas of Grass Biotopes of Ukraine]. Chernivtsi: Art Print [in Ukrainian].

Transcarpathian regional state administration (2023). *Dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha Zakarpatskoi oblasti za 2023 rik* [Report on the state of the environment of the Transcarpathian region for 2023]. [Electronic resource] URL: https://ecozakarp.at.gov.ua/?page_id=308 (access date 24.01.2025) [in Ukrainian].

Elektronna baza roslyn PZF Ukrainy [Electronic database of plants of the Northern Forest Reserve of Ukraine]. [Electronic resource] URL: <http://www.ieenas.org/p/> (access date 24.01.2025) [in Ukrainian].

Ivanenko, O.I., Krysenko, D.A., Krysenko, T.V., & Tobilko, V.Yu. (2020). Vykorystannia pryrodnoho tseolitu Sokyrnytskoho rodovyshcha dlia otrymannia oksydnno-marhantsevoho katalizatora okyslennia monooksydu vuhletsu [Use of natural zeolite from the Sokyrnytskyi deposit to obtain a manganese oxide catalyst for the oxidation of carbon monoxide]. *Visnyk Khersonskoho nats. tekhnichnoho universyteta* [Bulletin of the Kherson National Technical University], 3 (74), 26–37 [in Ukrainian].

Melnyk, L.I. (2024). Polimernyi kompozyt z vykorystanniam pryrodnoho tseolitu [Polymer composite using natural zeolite]. *Science and education in the third millennium: Information Technology, Education, Law, Psychology, Social Sphere, Management: International collective monograph*. Nicyporuk, J., & Batiuk, O. (eds.). Lublin, Polska: Institute of Public Administration Affairs, pp. 275–296. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.11406888> [in Ukrainian].

Melnyk, L., Sviderskyi, V., & Beregovy, T. (2024). Vykorystannia perlitu ta tseolitu yak napovniuvachiv akrylovykh kompozytiv [Use of perlite and zeolite as fillers for acrylic composites]. *Kompozytsiini materialy: materialy VIII Mizhnar. nauk. WEB-konf. [Composite materials: materials of the VIII International Scientific WEB-Conference]*. Kyiv. P. 103–107. [Electronic resource] URL: <https://cmmiwc.kpi.ua/> (access date 25.01.2025) [in Ukrainian].

Andrienko, T.L., & Peregryn, M.M. (structure) (2012). *Ofitsiini pereliky rehionalno ridkisnykh roslyn administratyvnykh terytorii Ukrainy (dovidkove vydannia)* [Official lists of regionally rare plants of administrative territories of Ukraine (reference edition)]. Kyiv: Alterpress [in Ukrainian].

Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine (2021). Order № 111. Pro zatverdzhennia vydiv roslyn ta hrybiv, shcho zanosyatsia do Chervonoï knyhy Ukrainy (roslynnyi svit) ta vydiv roslyn ta hrybiv, shcho vyklyucheni z Chervonoï knyhy Ukrainy (roslynnyi svit) [On approval of plant and mushroom species included in the Red Book of Ukraine (flora) and plant and mushroom species excluded from the Red Book of Ukraine (flora)]. [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0370-21#Text> (access date 24.01.2025) [in Ukrainian].

Protopopova, V., & Morozyuk, S. (2007). *Travianysti roslyny Ukrainy* [Herbaceous plants of Ukraine]. Ternopil: Textbook – Bohdan [in Ukrainian].

Ukrainska informatsiina merezha bioriznomanittia – Ukrainian Biodiversity Information Network. [Electronic resource] URL: <https://ukrbn.com/index.php?action=about&lang=2> (access date 24.01.2025) [in Ukrainian].

Tseolity [Zeolites]. [Electronic resource] URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki> (access date 24.01.2025) [in Ukrainian].

Tseolity pryrodni [Zeolites are natural]. [Electronic resource] URL: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article> (access date 24.01.2025) [in Ukrainian].

Didukh, Ya.P. (ed.) (2009). Chervona knyha Ukrainy. Roslynni svit [Red Book of Ukraine. Flora]. Kyiv: Globalcalling [in Ukrainian].

Shkvirko, O.M., Tymchuk, I.S., & Malovany, M.S. (2019). Osad stichnykh vod – komponent substratu dlia provedennia biolohichnoi rekultyvatsii zemel [Sewage sludge is a substrate component for biological land reclamation]. *Vodopostachannia ta vodovidvedennia: proektuvannia, budova, ekspluatatsiia, monitorynh: materialy 3-yi mizhnar. nauk.-prakt. [Water supply and wastewater: design, construction, operation, monitoring: materials of the 3rd international scientific-practical conference]*. Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, pp. 250–251 [in Ukrainian].

Cataldo, E., Fucile, M., & Mattii, G.B. (2021). A Review: Soil management, sustainable strategies and approaches to improve the quality of modern viticulture. *Agronomy*, 11, 2359. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112359> [in English].

Derbe, T., Temesgen, S., & Bitew, M. (2021). A Short review on synthesis, characterization, and applications of zeolites. *Adv. Mater. Sci. Eng.*, 1, 1–17. <https://doi.org/10.1155/2021/6637898> [in English].

International Plant Names Index. [Electronic resource] URL: <https://www.ipni.org/n/776622-1> (access date 24.01.2025) [in English].

Eroglu, N., Emekci, M., & Athanassiou, C.G. (2017). Applications of natural zeolites on agriculture and food production. *J. Sci. Food Agric.*, 97, 3487–3499. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8312> [in English].

Natural Zeolites: 2024. World Market Review and Forecast to 2033. [Electronic resource] URL: <https://mcgroup.co.uk/researches/zeolites> (access date 24.01.2025) [in English].

World Flora Online. [Electronic resource] URL: <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000930752> (access date 24.01.2025) [in English].

Отримано: 24.01.2025

Прийнято: 07.02.2025



УДК 551.577

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.31>

РІЧКОВА ДОЛИНА ПРИП'ЯТІ ВОЛИНСЬКОГО ПОЛІССЯ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА АНТРОПОГЕННІ ЗМІНИ

І. Я. Мисковець¹, І. В. Андрощук²

Стан річкових систем потребує постійної уваги, оскільки вони є джерелами життя. Актуальність полягає в мінімізації деградації екосистем і в припиненні втрати біорозмаїття. У сучасних умовах екологізації необхідність збереження провідної водної магістралі Волинського Полісся є важливим чинником розвитку економіки не лише цього регіону, але й області загалом. Унікальні природні комплекси є основою рекреаційної галузі загалом. Мета – оцінити екологічну ситуацію річкової долини на основі аналізу господарської діяльності та її впливу на сучасний стан, аналізу чинників якості води, виявлення основних гідроекологічних проблем у річковій долині, розроблення заходів для їх вирішення. Для цього використовувались методи, засновані як на прямих інструментальних вимірюваннях, так і на побудові різноманітних цифрових моделей, а саме математичної статистики, аналізу та синтезу, картографічний, ГІС-технологій і системного узагальнення. Наукова новизна полягає в запропонованій системі районування за якістю води в річці та її головних притоках. У процесі дослідження визначено сучасну екологічну ситуацію річкової долини Прип'яті Волинського Полісся в рамках відокремлених формацій, а також установлені чинники трансформації. Розраховано антропогенне навантаження на річкову долину та розроблені заходи вирішення гідроекологічних проблем. Установлено, що осушувальна меліорація, яка проведена в минулому столітті, змінила гідроекологічний стан заплави Прип'яті, а господарська діяльність на бідних ґрунтах, з використанням добрив, досі призводить до значного забруднення компонентів гідроекосистеми. У сучасному середовищі якості води залежить не від природних процесів, а від утручання в екосистеми антропогенних чинників. Особливо небезпечними залишаються забруднення стічними водами комунальних і сільськогосподарських підприємств. Окрім забруднення водних активів, нагальною проблемою, що потребує вирішення, є існуюча структура земель у річковій долині Прип'яті. Це пов'язано з тим, що внаслідок інтенсивного сільськогосподарського освоєння значно зменшилися площі природних угідь.

За підсумками аналізу стану екології в річковій долині Прип'яті визначено, що першочерговим кроком для подолання кризової ситуації є проведення комплексного оцінювання трансформації екосистеми річки та розроблення відповідних природоохоронних заходів.

¹ кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри екології
(Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)
e-mail: myskovetsiryna@lutsk-ntu.com.ua
ORCID: 0000-0001-9248-4919

² кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри цивільної безпеки
(Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)
e-mail: androschuk63@gmail.com
ORCID: 0000-0002-3779-6896

Представлений комплекс досліджень і розрахунків створює сучасну наукову основу для розроблення схем раціонального природокористування з урахуванням сучасних змін.

Ключові слова: екологічна ситуація, навоколишнє середовище, трансформація, забруднення, управління природними ресурсами, заплава.

THE RIVER VALLEY OF THE PRIPYAT IN THE VOLYN POLISSIA: CURRENT STATE AND ANTHROPOGENIC CHANGES

I. Ya. Myskivets, I. V. Androshchuk

The condition of river systems requires constant attention, as they are sources of life. The relevance lies in minimizing ecosystem degradation and halting the loss of biodiversity. In the current context of ecological concerns, the need to preserve the main waterway of the Volyn Polissia is an important factor for the development of the economy, not only of this region but also of the entire area. Unique natural complexes form the basis of the recreational industry as a whole. Objective. The aim is to assess the ecological situation of the river valley based on the analysis of economic activities and their impact on the current state, the analysis of water quality factors, identification of key hydroecological problems in the river valley, and the development of measures to improve the situation. Methods based on both direct instrumental measurements and the creation of various digital models, such as mathematical statistics, analysis and synthesis, cartographic methods, GIS technologies, and system generalization, were used. Scientific novelty. The novelty lies in the proposed system of zoning according to water quality in the river itself and its main tributaries. The study determined the current ecological situation of the Pripjat River valley in the Volyn Polissia region within isolated formations, as well as identified transformation factors. The anthropogenic load on the river valley was calculated, and measures for solving hydroecological problems were developed. It was found that drainage reclamation conducted in the last century changed the hydroecological state of the Pripjat floodplain, and economic activities on poor soils, with the use of fertilizers, continue to cause significant pollution of the hydrosystem components. In the modern environment, water quality depends not on natural processes but on the intervention of anthropogenic factors. Particularly hazardous are the pollutants from the wastewater of municipal and agricultural enterprises. In addition to the pollution of water resources, an urgent problem that requires resolution is the existing land structure in the Pripjat River basin. This is due to the fact that, as a result of intensive agricultural development, the areas of natural lands have significantly decreased. Based on the analysis of the ecological state in the Pripjat River basin, it was determined that the first step in overcoming the crisis situation is conducting a comprehensive assessment of the river ecosystem transformation and developing appropriate environmental protection measures. The presented set of research and calculations creates a modern scientific basis for the development of rational natural resource management schemes considering current changes.

Key words: ecological situation, environment, anthropogenic load, transformation.

Вступ

Збільшення людського впливу на довкілля та забруднення останнього спричинює погіршення екологічного стану в усіх його аспектах. Антропогенний вплив на природні екосистеми й унікальність природних умов річкової долини Прип'яті потребують постійного моніторингу екологічного стану цієї території. Осушувальна меліорація, проведена в минулому столітті, вплинула на гідроекологічну ситуацію заплави Прип'яті. А господарська діяльність на бідних ґрунтах, з використанням добрив, досі призводить до значного забруднення компонентів гідроекосистеми. Якщо і надалі буде продовжуватися забруднення водних ресурсів, то наслідки можуть бути незворотними

і можуть стати причиною гідроекологічних катастроф.

Нині новою небезпекою для гідроекосистеми річкової долини Прип'яті є зміни клімату, тому досконале виявлення процесів у межах долини актуальне, як ніколи. Щоб повернути річці та її притокам їхній природний вигляд, потрібні умови виконання всіх природних функцій. Отже, розроблення заходів покращення екологічної ситуації в річковій долині Прип'яті має включати не тільки збереження природних комплексів та їх відновлення, але й започаткування етапу як раціонального, так і збалансованого використання ресурсів природи, що ґрунтується на принципах сталого розвитку. Важливий внесок у дослі-

дження гідроресурсів Волині та річкової долини Прип'яті зробили (Осадчий, 2012; Даус, 2019; Хільчевський та ін., 2020). Стан поверхневих вод басейну Прип'яті в умовах антропогенного впливу досліджували (Яцик та ін., 2007; Гопчак та ін., 2019; Нетробчук та ін., 2020).

Матеріал і методи

Для проведення дослідження були використані літературні джерела, а також матеріали Управління охорони навколишнього середовища області, дані спостережень Волинського обласного гідрометеоцентру, архівні матеріали Приватного акціонерного товариства «Інститут «Волиньводпроект»», національного природного парку (далі – НПП) «Прип'ять – Стохід», Управління статистики, картографічні матеріали. Під час виконання дослідження застосовувалися географічний і системний наукові підходи, використовувалися такі наукові методи, як описовий, узагальнення, статистичний, літературний і картографічний, а також методи аналізу та синтезу.

Застосування екосистемного підходу на основі моделі (логіко-математичної) ієрархічної структури дозволяє оцінити екологічний статус річкового басейну за методикою, що розроблена А.В. Яциком (Яцик та ін., 2007), так: 1) оцінювання справжнього екологічного статусу долини річки загалом і в рамках відокремлених формацій (радіоактивне забруднення, земельні ресурси, стік, добротність води); 2) оцінювання дії окремих ознак на стан формацій і екосис-

теми басейну загалом (Нетробчук та ін., 2020).

Результати та обговорення

Необхідність збереження стану екології поверхневих вод річкового басейну Прип'яті (рис. 1) випливає з її унікальних природних умов.

Екологічний стан річкового басейну відображає наслідки впливу антропогенного чинника на природне середовище, що відбувається через зміни ув ландшафтах, ґрунтах, лісах, якості води, а також рослинному і тваринному світі (Головні ..., 2024). У цьому контексті надзвичайно важливим є проведення досліджень антропогенного впливу й оцінювання екологічної ситуації в річковій долині як єдиної геосистеми.

Прип'ять – притока Дніпра, яка належить до найбільших річок України. Річка транскордонна, оскільки протікає через Україну та Республіку Білорусь.

Територія долини Прип'яті слабо виражена у верхів'ї, але стає чіткішою в пониззі. Заплава розташована вздовж усієї річки, також можна виділити дві надзаплавні тераси (рис. 2). У верхній частині ширина заплави становить від 2 до 4 км і більше, а в пониззі – від 10 до 15 км, іноді в деякі роки під час повеней вона може бути затоплена водою на кілька місяців.

У верхній частині річки річище каналізоване, нижче воно стає звивистим, утворює меандри, а також стариці та численні протоки, одна з яких з'єднується з о. Нобель. Тут також є піщані острови. Ширина

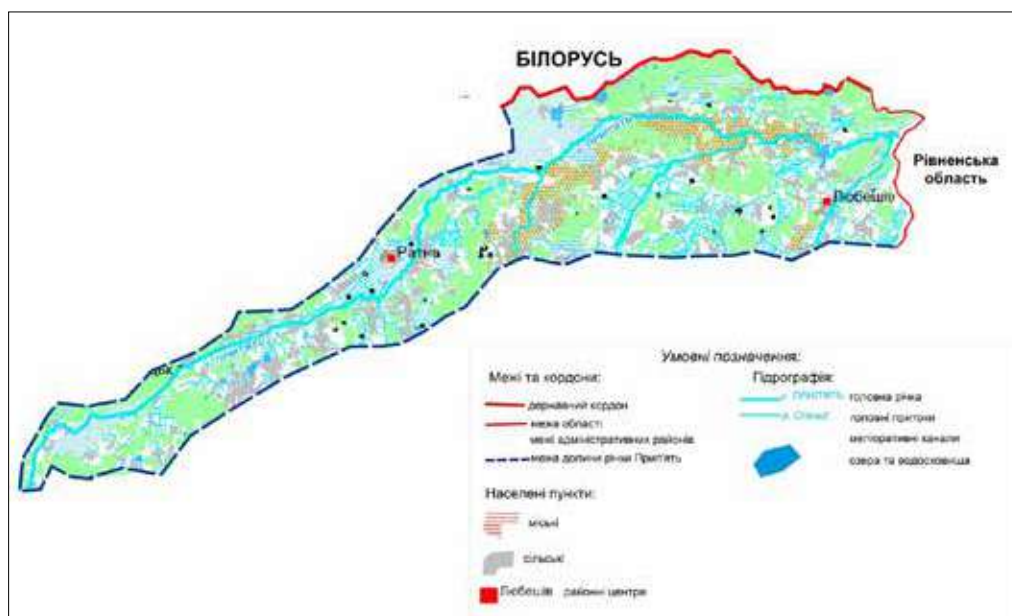


Рис. 1. Річкова долина Прип'яті

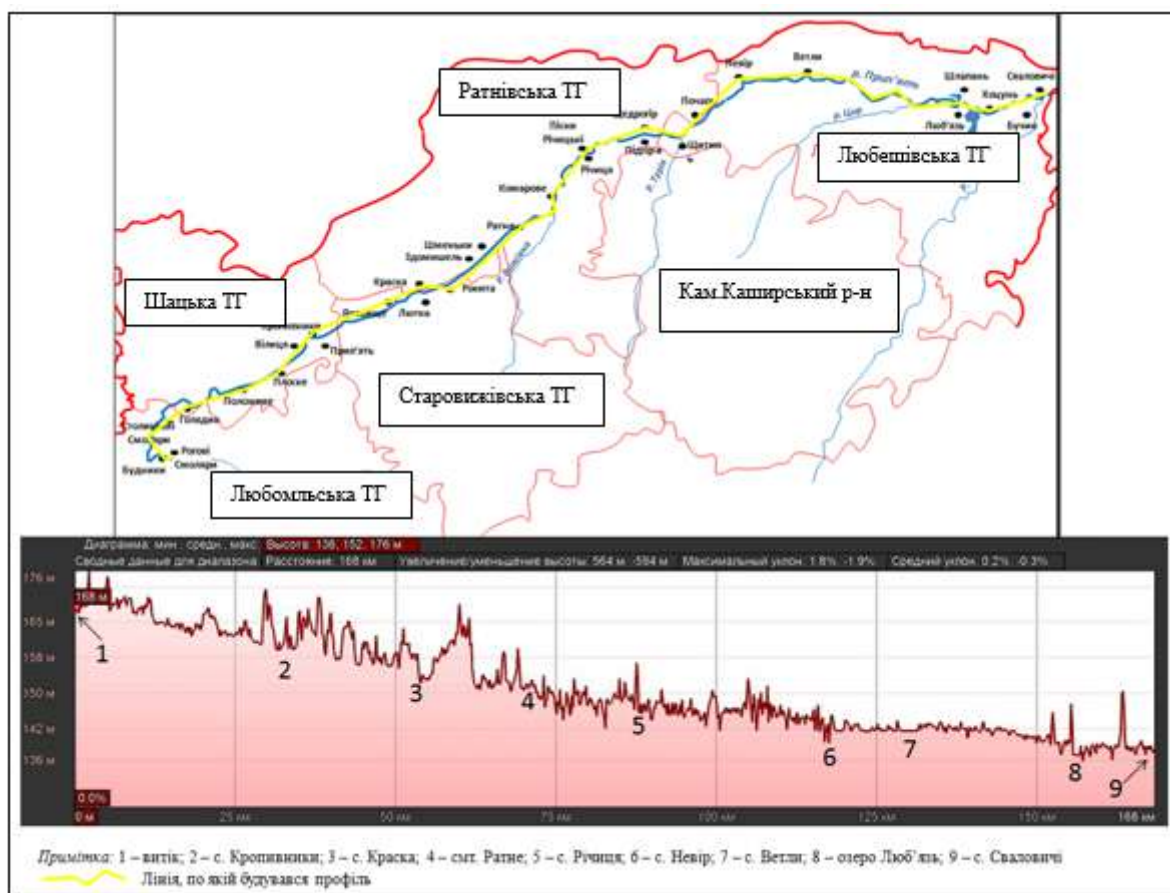


Рис. 2. Повздовжній профіль долини річки (Нетробчук та ін., 2020)

русла у верхів'ї досягає 40 м, у середній частині – від 50 до 70 м, а в пониззі – від 100 до 250 м. Дно річки піщане, в окремих місцях піщано-мулисте. Сточище річки Прип'ять характеризується добре розвинутою гідрографічною мережею, більшість приток каналізовані цілком або частково. Гідрографічна сітка річки налічує понад 10 тис. річок і струмків. На території області протікають річки Турія та Стир, а також річки Стохід і Цир. Живлення цих річок змішане. Водний режим характеризується тривалими весняними повенями, літніми нетривалими меженями, які порушуються паводками, а також майже щорічними осінніми підвищеннями рівня води. Весняний стік становить 60–65% від річного, рівень води підвищується на 1–4 м, а на ділянках із вузькою заплавою – до 7 м (Мольчак та ін., 2019). Протягом повені навесні заплава зазвичай затоплюється водою на 12 днів. Трапляються і катастрофічні паводки, як це було у 2010 р. під час весняної повені й у 2018 р. в літній період. Літній паводок у 2018 р. стався через сильні опади: за місяць випало 216 мм дощів за норми 61 мм, що

у 3,6 раза більше за середнє значення. Річка замерзає на початку грудня, а крига скресає в кінці березня. Вода набуває кольору, зумовленого наявністю в басейні річки торфових і болотних ґрунтів.

Окрім річок, важливу роль у гідрографічній мережі басейну річки відіграють озера різного походження. У басейні річки є озера як заплавної типу (Люб'язь, Луки, Стрибуж), карстові (Велике та Мале Домашнє, Пісочне, Лука), так і утворені внаслідок ерозійної діяльності льодовиків (Біле та Скоринь у Любешівському регіоні) (Забокрицька та ін., 2020, с. 2).

На досліджуваній території розташовані два водосховища та два ставки. Бихівське водосховище призначене для регулювання поверхневого стоку й акумуляції води на зволоження земель. Глибина водойми становить 2,9 м, довжина – 950 м, ширина – 800 м (Головні ..., 2024). Цирське водосховище призначене для акумуляції частини стоку повені з наступним використанням для зволоження в посушливі періоди року. Глибина водойми становить 3 м, довжина – 1 060 м, ширина – 1 180 м. Основним дже-

релом наповнення є річка Цир. Територія заплави річки входить до складу територій НПП «Прип'ять – Стохід». На території заплави є 10 заказників з охорони водних ресурсів (НПП ..., 2024).

Характерною особливістю долини є відмінність у геологічній будові її частин. На заході домезозойські відклади представлені породами протерозою. Східна частина складена палеозойськими відкладами. У геоморфологічному відношенні долина річки перебуває в межах території Верхньоприп'ятської рівнини. Будова долини формувалася протягом довгої геологічної історії, тому в її межах можна спостерігати різний рельєф: антропогенні, флювіальні, еолові, лімногенні відклади (НПП ..., 2024).

Територія водозбору Прип'яті значно заболочена. Площа заболочених земель і боліт у долині становить 50,5% усієї території. Річкова заплава є частиною як водних, так і болотних угідь, що охоплюються Рамсарською конвенцією. Найбільшими болотами є Кинше, Радове, Мушеве, Бишеве. Панівними болотами є низинні евтрофні висотравні, осокові. Найбільш поширеними є лісові та болотні заплави, які охоплюють 35,2% площі території (НПП ..., 2024). Найбільші болота є частиною території НПП «Прип'ять – Стохід», який був створений на основі гідрологічних заказників («Великоглушанський», «Ветлівський» і «Бірківський»), а також заказників «Гірківський», «Прип'ятський» і «Седлищанський». Болота відіграють ключову роль у відновленні ландшафтів, підтриманні екологічної рівноваги та збереженні біологічного розмаїття регіону. Нині основними напрямками використання болотних угідь є осушення, видобуток торфу та рекреаційна діяльність, що часто спричиняє зміни у водно-мінеральному стані, руйнування органічної речовини, знищення природного покриву та зміни в мікрокліматі (Хільчевський та ін., 2020, с. 3). Значна площа заболочених земель, неможливість їх використання зумовили процес штучного осушення боліт. На досліджуваній території розташовані осушувальні системи Цирська і Полицька, а також Коростинська та Бихівська. Загальна площа меліоративних систем у межах долини становить трохи більше 685 км², із яких площа гончарного дренажу – приблизно 260 км² (НПП ..., 2024). Значна частина меліоративних систем не виправдала свого призначення, тому актуальним нині є питання їх ренату-

ралізації. Сучасне використання цих систем у сільському господарстві зводиться до відведення площ під сінокоси, пасовища та частково під рілля. На меліорованих ділянках долини відбулася зміна річкової мережі внаслідок ерозії.

Унаслідок осушення в річковій долині відбулися зміни у ґрунтовому покриві. Ґрунтовий покрив річкової долини формується переважно під впливом різноманітних ґрунтоутворних порід і антропогенної діяльності, зокрема меліорації. Він здебільшого складається із ґрунтів дерново-підзолистих, а також дернових і болотних, які класифікуються як за ґрунтовими групами, так і за меліоративними групами (Нетробчук та ін., 2020). У ґрунтовому покриві переважають торфові ґрунти – 23%. Натепер торфовища річкової долини Прип'яті заболочені частково, а ґрунтові води розташовуються близько до поверхні. Частина торфовищ уже осушена й освоєна. У районах осушення спостерігається мінералізація торфу, а також його просідання. Меліорація та використання торфовищ призводять до зменшення їхньої пористості та вологемкості. Найбільші зміни відбуваються у ґрунті, його верхньому шарі. Варто зазначити, що осушення річкової долини спричинило зміни як фізичних, так і хімічних властивостей ґрунтів усіх типів. На прикладі ґрунтів річкової долини Прип'яті можна побачити, що багато торфовищ зазнали спрацювання, мінералізації та перетворення на торфові утворення, а також на болотні утворення. Водночас зросла частка ґрунтів глеевих і глеюватих. Серед угідь сільськогосподарського призначення переважає рілля, що охоплює майже половину їх площі. Господарська діяльність у долині річки збільшує антропогенний вплив. Осушувальні роботи призводять до трансформації русел (Хільчевський та ін., 2020, с. 2). Становище стає більш складним тому, що останніми роками відстежується відведення заплав річок під будівництво дач. Тому дослідження антропогенного навантаження є актуальним для збереження болотних угідь Полісся. Значною екологічною проблемою в річковому басейні є зменшення біорозмаїття. Охорона біорозмаїття є одним з основних пріоритетів раціонального використання природних ресурсів у річковій долині Прип'яті. Тут мешкає понад 220 видів хребетних тварин і більше 550 видів судинних рослин. У цьому регіоні також трапляються як тварини, так і рослини рідкісних видів, а також уні-

кальні рослинні угруповання. Серед рідкісних рослин на території річкового басейну можна побачити березу низьку та гніздівку звичайну, а також осоку Девелла й інші, занесені до Червоної книги України. Серед тварин рідкісних видів є махаон, ропуха очеретяна та лелека чорний, а також журавель сірий, видра річкова й інші, занесені до списку Червоної книги України. На території трапляється також деркач, занесений до Європейського червоного списку. Серед найцінніших природних територій, що збереглися в первісному стані, виділено: територію Шацького національного природного парку та територію ландшафтного парку «Прип'ять – Стохід», а також річкову заплаву Прип'яті в межах водних і болотних угідь міжнародного значення, територію річкової заплави Стоходу в межах водних і болотних угідь міжнародного значення, річкову заплаву Турії (НПП ..., 2024). Загалом тут сформовано заповідну мережу, де державою взято під охорону не тільки рослини та тварин рідкісних і таких, що зникають, видів, які занесені до списку Червоної книги України, а й комплекси, як природні, так і територіальні як такі (рис. 3).

Унаслідок господарського освоєння в річковій долині сформувався природокористування різноманітних форм, переважають серед яких сільськогосподарське, лісгосподарське та поселенське природокорис-

тування. Нині збільшується також вплив дорожньо-транспортного природокористування. З огляду на це ми розраховували антропогенну трансформацію річкової долини за методикою А.В. Яцика (Яцик та ін., 2019). Отже, відповідно до розрахунків, на території долини річки природні ландшафти середньо трансформовані, що свідчить про значний вплив господарської діяльності на природні комплекси. У ландшафтній структурі річкової долини чітко виділяються чотири ландшафтні місцевості: зандрові низовини, плоско-хвилясті, з низинними болотами, з борами острівними та суборами, вільшняками; також тераси піщані, горбисто-хвилясті, з піщаними ґрунтами під борами, піщані тераси, хвилясті, з піщаними ґрунтами під острівними борами, а також заплави лісові та болотні (Головні ..., 2024). Водозабезпечення області ґрунтується на водних ресурсах двох річкових басейнів – Прип'яті та Західного Бугу. Більше $\frac{3}{4}$ усіх вод припадає на річковий басейн Прип'яті (рис. 4).

У середньому із цього басейну щорічно забирається води 50 млн м³, проте в останні роки обсяг зменшується. Основним забруднювачем поверхневих вод є житлове господарство, а також комунальне господарство (Яцик та ін., 2007). Дані спостережень і результати досліджень показують, що екологічний стан річкової долини погіршується

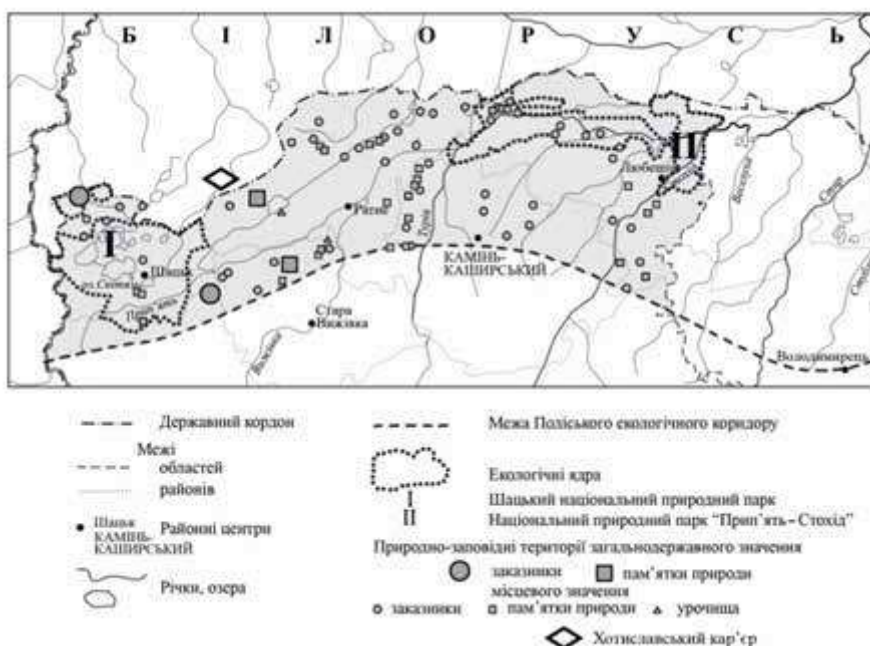


Рис. 3. Картохема природоохоронних територій басейну Прип'яті (Головні ..., 2024)

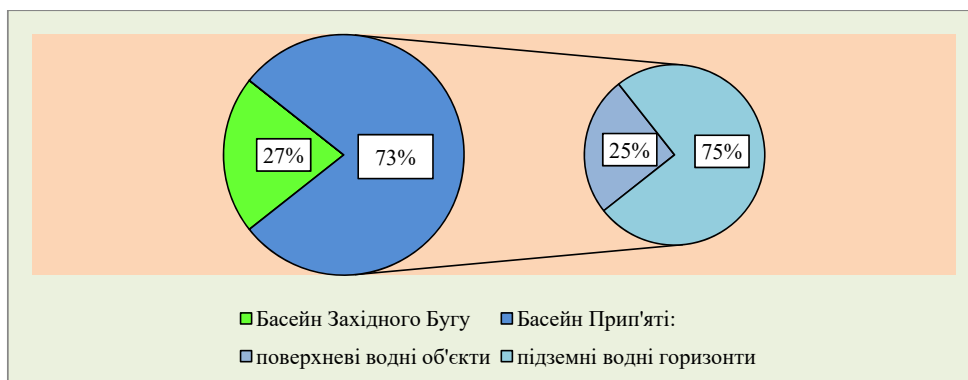


Рис. 4. Джерела водопостачання в басейні річки, %

з кожним роком. До головних причин негативних змін можна віднести такі: забір води з річки Прип'яті до Дніпро-Бузького каналу, масове спорудження браконьєрських загат для ловлі риби і заростання русла річки.

Вологе літо та м'яка зима характеризують помірний клімат річкової долини. Для неї специфічними є затяжна повінь, недовга межень із паводками. Постійні спостереження за кліматом та погодою здійснюються на трьох метеорологічних станціях – Світязь, Ковель і Любешів. Значна протяжність території зумовлює нерівномірні опади. Західна частина долини є менш вологою. Найвологішою частиною долини є територія Любешівської ТГ (Мольчак та ін., 2019). У долині Прип'яті напрямками вітрів, що переважають, є західні (до 28% повторюваності), північно-західні (до 16%). Швидкість вітру в середньому досягає 3 м/с (рис. 5).

Кількість днів з опадами коливається в межах від 206 (у 2008 р.) до 138 (у 2020 р.). У середньому над долиною випадає від 600

до 655 мм опадів за рік. З них на вегетаційний період припадає приблизно половина (Осадчий, 2012, с. 120). У річковій долині спостерігається зменшення опадів у червні. Найбільше опадів у липні (рис. 7), їх кількість залежить від циркуляції повітря та грозової активності.

Нині новим викликом для річкової долини є зміни клімату. На території річкової долини зміни клімату здебільшого помічаються в підвищенні температури, поширенні опадів, відсутності як снігового, так і льодового покриву. У результаті – значні паводки та рідші великі повені. Знижуються ґрунтові води, що спричинює обміління річок і озер, а також обміління колодязів і свердловин. Проблема підтоплення в долині річки найголовніша та надзвичайно актуальна. Запобігти природним паводковим і повеневим процесам практично нереально. Окрім звичних способів боротьби з ними (спорудження дамб, заглиблення русел), потрібно застосовувати і нові (НПП ..., 2024). У річ-

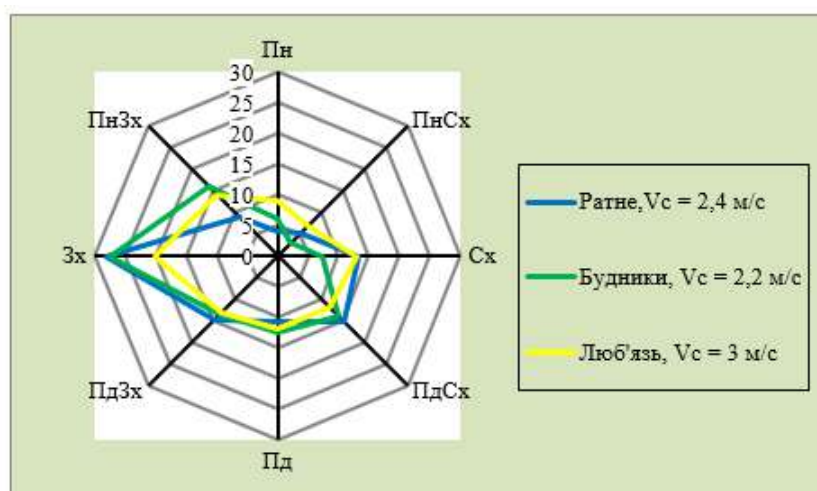


Рис. 5. Вітровий режим в долині річки, %

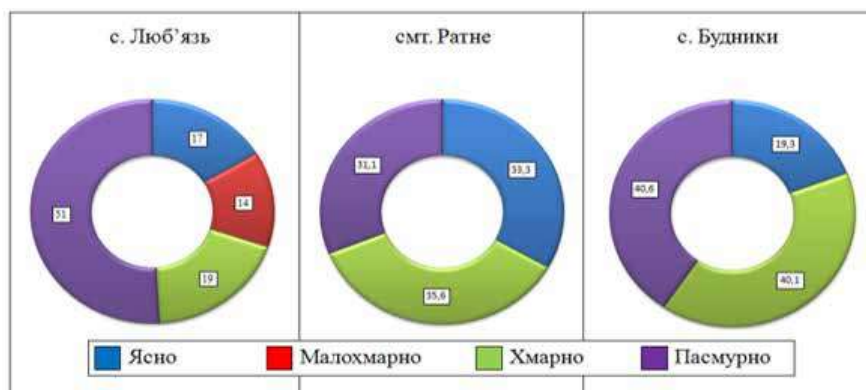


Рис. 6. Стан неба над долиною річки протягом року, %



Рис. 7. Опади за рік (мм)

ковій долині Прип'яті нерівномірність стоку зумовлена горбистим рельєфом і поширенням відкладів четвертинного періоду як глинистих, так і малопроникних для води, що призводить до низької інфільтрації опадів, їх швидкого стікання. Однак у низинних і рівнинних зонах Полісся, де поверхня має малі нахили, а піщані відклади добре водопроникні, швидка інфільтрація опадів забезпечує більш рівномірний водний режим. Отже, розроблення заходів для поліпшення гідроекологічного стану має бути орієнтоване не лише на збереження природного стану та відновлення, а й на започаткування етапу як раціонального, так і збалансованого використання природних ресурсів на основі принципів сталого розвитку. Значні проблеми, особливо в останні роки, створює видобуток бурштину, який проводиться незаконно. Максимально від цього страждають ліси, ґрунти та підземні води. Поверхневі води річкової долини, відповідно до оцінювання якості, слабо забруднені. Для поліпшення якості води необхідні моніторинг вод, поширення сітки спостере-

жень за режимом річок, налаштування скидів тощо (Мольчак та ін., 2019).

Висновки

Щодо долини річки можна виділити земельні ресурси, число біогенних речовин, які винесені з угідь, водні ресурси, водозабезпеченість. До основних негативних чинників, які впливають на гідроекосистему долини, належать замулення, зарегулювання, спрямлення, а також осушувальні роботи. Екологічні проблеми в долині створюють паводки і повені. До заходів вирішення гідроекологічних проблем належать такі: очищення русел і каналів; укріплення берегів; організація та правильна експлуатація прибережних смуг; організація лісових, полезахисних, протиерозійних і водохоронних насаджень у басейні водозбору; розширення сітки спостережень за режимом рік; регулювання скидів; розроблення системи штрафів за скиди без спеціального дозволу; боротьба з браконьєрством тощо. Ці проблеми можна вирішити через співпрацю місцевих органів влади, громадських організацій і екологічних установ.

Список використаної літератури

Головні водно-екологічні проблеми суббасейну річки Прип'ять. Басейнове управління водних ресурсів річки Прип'ять. [Електронний ресурс]. URL: <https://buvrzt.gov.ua/pusrp.html> (дата звернення: 12.12.2024).

Даус М.Є. Вплив водності на якість води в басейні річки Прип'ять. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 3 (54). С. 40–42.

Методика розрахунку антропогенного навантаження і класифікації екологічного стану басейнів малих річок України / А.В. Яцик та ін. Київ, 2007. 71 с.

Національний природний парк «Прип'ять – Стохід» [Електронний ресурс]. URL: <http://www.pripyat-stohid.com.ua/> (дата звернення: 16.12.2024).

Нетребчук І.М., Оласюк І.Ю. Оцінка антропогенного навантаження на долину річки Прип'ять у Волинській області. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2020. № 8 (71). С. 15–33.

Осадчий В.І. Природні умови формування хімічного складу води водних об'єктів національного природного парку «Прип'ять – Стохід». *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2012. № 262. С. 115–145.

Поверхневі води Волині / Я.О. Мольчак та ін. Луцьк : Терен, 2019. 365 с.

Яцик А.В., Яцик І.А., Гопчак І.В., Басюк Т.О. Оцінка стану водних екосистем Волинської області за рівнем антропогенного навантаження. *Вісник аграрної науки: агроекологія, радіологія, меліорація*. 2019. Вип. 10. С. 77–82.

Khilchevskiy V.K., Kurylo S.M., Zabokrytska M.R. Long-term fluctuations in the chemical composition of surface waters and climate change. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment : XIV International Scientific Conference proceedings*. November. 2020. Vol. 1. P. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056003>.

References

Holovni vodno-ekolohichni problemy subbaseynu richky Prypiat. Baseynove upravlinnya vodnykh resursiv richky Prypiat [Main water and ecological problems of the Pripyat River sub-basin. Basin management of water resources of the Pripyat River]. [Electronic resource] URL: <https://buvrzt.gov.ua/pusrp.html> (access date 12.12.2024) [in Ukrainian].

Daus, M.E. (2019). Vplyv vodnosti na yakist vody u baseyni richky Prypiat [The influence of water content on water quality in the Pripyat River basin]. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, 3, 40–42 [in Ukrainian].

Yatsyk, A.V., Byshovets, L.B., Petruk, O.M., Chernyavska, A.P. (2007). Metodyka rozrakhunku antropohennoho navantazhennya i klasyfikatsiyi ekolohichnoho stanu baseyniv malykh richok Ukrayiny [Methodology for calculating anthropogenic load and classifying the ecological state of small river basins of Ukraine]. Kyiv, 71 [in Ukrainian].

Natsionalnyy pryrodnyy park “Prypiat – Stokhid” [National Nature Park “Pripyat – Stokhid”]. [Electronic resource] URL: <http://www.pripyat-stohid.org.ua/> (access date 12.12.2024) [in Ukrainian].

Netrebchuk, I.M., Olasyuk, I.Yu. (2020). Otsinka antropohennoho navantazhennya na dolynu richky Prypiat u Volynskiy oblasti [Assessment of anthropogenic load on the Pripyat River valley in Volyn region]. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, 71 (8), 15–33 [in Ukrainian].

Osadchy, V.I. (2012). Pryrodni umovy formuvannya khimichnoho skladu vody vodnykh ob'yektiv natsional'noho pryrodnoho parku “Pryp'yat – Stokhid” [Natural conditions for the formation of the chemical composition of water in water bodies of the Pripyat – Stokhid National Nature Park]. *Naukovi pratsi UkrNDHMI [Scientific Works of the UkrNDGMI]*, 262, 115–145 [in Ukrainian].

Molchak, Ya.O., Myskovets, I.Ya., Voh, A.M., Gaivovyi, O.O., Molotok, P.O., & Myskovets, O.I. (2019). *Poverkhnevi vody Volyni [Surface waters of Volyn]*. Lutsk : Teren, 365 [in Ukrainian].

Yatsyk, A.V., Yatsyk, I.A., Hopchak, I.V., & Basyuk, T.O. (2019). Otsinka stanu vodnykh ekosystem Volyns'koyi oblasti za rivnem antropohennoho navantazhennya [Assessment of the state of aquatic ecosystems of the Volyn region by the level of anthropogenic load]. *Visnyk ahraryoi nauky ahroekolohiya, radioekolohiya, melioratsiya [Bulletin of Agrarian Science: Agroecology, Radioecology, Land Reclamation]*, 10, 77–82 [in Ukrainian].

Khilchevskiy, V.K., Kurylo, S.M., Zabokrytska, M.R. (2020) Long-term fluctuations in the chemical composition of surface waters and climate change. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment: conference Proceedings, XIV International Scientific Conference*, 1, 1–5. November. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056003> [in Ukrainian].

Отримано: 20.01.2025

Прийнято: 10.02.2025



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 11
Український журнал природничих наук
№ 11

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

УДК 502.171(477.51-25):551.583
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.32>

ЕКОСИСТЕМНІ ПОСЛУГИ ВУЛИЧНИХ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ М. ЧЕРНІГОВА В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН

С. О. Потоцька¹, П. А. Аравін², Ю. О. Карпенко³, В. О. Свердлов⁴

Міські екосистеми, до складу яких входять різноманітні живі організми, виконують багато важливих функцій, що сприяють добробуту людей і збереженню довкілля. Серед основних функцій варто відзначити підтримання мікроклімату, очищення приземного шару повітря від пилу, важких металів і шкідливих газів, зниження рівня шумового забруднення, забезпечення рекреаційних потреб населення, а також підвищення комфортності й естетичної привабливості житлових районів. Баланс між антропогенними та природними елементами міського ландшафту створює сприятливі умови для формування оптимального середовища проживання в сучасних європейських містах.

Активна діяльність міста значно впливає на місця існування живих організмів, включаючи лісопарки, острови, водойми, долини малих річок, прибережні зони та природно-заповідні території. Це призводить до збіднення біорізноманіття, деградації цілісних екосистем або навіть до їхнього повного знищення. Сучасні кліматичні зміни лише ускладнюють ситуацію для урбанізованих територій, що робить їх врахування та оцінку ключовими аспектами у плануванні сталого розвитку міських екосистем та їх компонентів.

Метою дослідження є ідентифікація та аналіз екосистемних послуг, які надаються вуличними зеленими насадженнями Чернігова, а також розробка рекомендацій для адаптації міського середовища до кліматичних змін.

¹ кандидат біологічних наук,
доцент кафедри біології
(Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка, м. Чернігів)
e-mail: s_pototska@ukr.net
ORCID: 0000-0002-3595-503X

² аспірант кафедри екології, географії та природокористування
(Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка, м. Чернігів)
e-mail: rv.pasha@gmail.com
ORCID: 0009-0006-1917-4950

³ кандидат біологічних наук, доцент
завідувач кафедри екології, географії та природокористування
(Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка, м. Чернігів)
e-mail: yuch2011@i.ua
ORCID: 0000-0002-1703-8473

⁴ доктор філософії,
старший лаборант кафедри біології
(Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка, м. Чернігів)
e-mail: vovasv8989@ukr.net
ORCID: 0000-0002-4079-0831

У статті проаналізовано екосистемні послуги, які формуються вуличними зеленими насадженнями міста Чернігова в умовах зростаючих кліматичних викликів. Дослідження охоплює вплив зелених зон на якість повітря, терморегуляцію міського середовища, психологічний комфорт мешканців та адаптацію до кліматичних змін. Проведено оцінку сучасного стану насаджень, визначено основні проблеми та розроблено рекомендації щодо підвищення їх ефективності. Отримані результати мають практичну цінність для збалансованого розвитку міської зеленої інфраструктури, оптимізації зеленого будівництва та збереження природних територій Чернігова.

Ключові слова: вуличні насадження, екосистемні послуги, концентрація озеленення, м. Чернігів.

ECOSYSTEM SERVICES OF STREET GREEN SPACES IN CHERNIHIV UNDER CLIMATE CHANGE

S. O. Pototska, P. A. Aravin, Yu. O. Karpenko, V. O. Sverdlov

Urban ecosystems, which include a variety of living organisms, perform many important functions that contribute to human well-being and environmental conservation. Among the main functions, it is worth noting the maintenance of the microclimate, purification of the surface layer of air from dust, heavy metals and harmful gases, reduction of noise pollution, ensuring the recreational needs of the population, as well as increasing the comfort and aesthetic appeal of residential areas. The balance between anthropogenic and natural elements of the urban landscape creates favorable conditions for the formation of an optimal living environment in modern European cities.

The active activity of the city significantly affects the habitats of living organisms, including forest parks, islands, reservoirs, valleys of small rivers, coastal zones and nature reserves. This leads to the impoverishment of biodiversity, the degradation of entire ecosystems or even their complete destruction. Modern climate change only complicates the situation for urbanized areas, which makes their consideration and assessment key aspects in planning the sustainable development of urban ecosystems and their components.

The purpose of the study is to identify and analyze ecosystem services provided by street green spaces in Chernihiv, as well as develop recommendations for adapting the urban environment to climate change. The article analyzes ecosystem services formed by street green spaces in Chernihiv in the face of growing climate challenges. The study covers the impact of green areas on air quality, thermoregulation of the urban environment, psychological comfort of residents and adaptation to climate change. The current state of the spaces was assessed, the main problems were identified and recommendations were developed to improve their efficiency. The results obtained have practical value for the balanced development of urban green infrastructure, optimization of green construction and preservation of natural areas in Chernihiv.

Key words: street plantings, ecosystem services, concentration of greenery, Chernihiv city.

Вступ

Збереження природних біотопів у міському середовищі є ключовим завданням для забезпечення сталого розвитку урбанізованих територій. Це завдання відповідає цілям Стратегії ЄС з біорізноманіття до 2030 року, яка містить рекомендації з озеленення міських територій. Основна мета цієї стратегії полягає в усуненні основних причин втрати біорізноманіття, сприянні відновленню екосистем і підвищенні їхньої стійкості. Вона також спрямована на забезпечення безперервного надання екосистемних послуг, які мають вирішальне значення для добробуту людей і розвитку економіки.

Інтенсивне антропогенне навантаження на міста спричиняє серйозні екологічні

проблеми, зокрема забруднення повітря, води й ґрунтів, а також руйнування природних середовищ існування біорізноманіття. Урбанізовані екосистеми особливо вразливі до змін клімату, включаючи такі явища, як міські теплові острови й раптові зливові паводки. Водночас щільна міська забудова часто призводить до зменшення площ зелених насаджень у структурі міста. Деревні рослини є життєво важливими для міських територій, оскільки вони сприяють адаптації до кліматичних змін, очищують повітря, підтримують біорізноманіття й забезпечують соціальні, економічні, культурні вигоди та забезпечують населення екосистемними послугами (Варуха, 2022).

Одним із ключових елементів екологічної стабілізації техногенних територій є посадки деревних рослин, які виконують роль природного фільтра, а насадження спеціального призначення, а саме газостійкі дерева в алеєвних посадках уздовж доріг, поглинають шкідливі викиди, однак їхній листовий апарат часто зазнає пошкоджень уже на початку вегетаційного періоду, що суттєво знижує декоративну цінність і фітомеліоративний потенціал насаджень. Захисна функція вуличних зелених зон має важливе практичне значення, оскільки деревні рослини оберігають будівлі та подвір'я від зимових вітрів і хуртовин, а в теплу пору року – від суховіїв. Регулюючи температуру та вологість повітря, зелені насадження формують у межах вулиць особливий мікроклімат, який є значно комфортнішим для людини порівняно з територіями, позбавленими рослинності. Кліматичні зміни створюють нові виклики для міських екосистем, особливо в контексті збереження й розвитку зеленої інфраструктури. Вуличні зелені насадження є невід'ємною складовою частиною екологічного каркасу міста, які виконують ключові функції щодо поліпшення якості повітря, зниження рівня шуму, регулювання температурного режиму й сприяння збереженню біорізноманіття (Василюк та ін., 2023).

Місто Чернігів виступає адміністративним центром у північній частині України. Чернігів розташований у західній частині Чернігівської області на правому березі однієї з найбільших річок – Десни, площа міста становить 7856,3 га, координати – 48°37'N22°18'E.

За нашими розрахунками, комплексна зелена зона міста Чернігова, яка включає природні лісові ділянки заплави річки Десни та її приток, лісопарки, парки, сквери, кварталні та вуличні насадження загальною площею 3100 га. Зелені насадження загального користування займають площу 752 га. Згідно з даними КП «Зеленбуд» на одного жителя припадає 16 м² зелених насаджень, а зелена інфраструктура міста, за якою здійснюється догляд КП «Зеленбуд», має площу 678,84 га, а саме: парки – 8 одиниць (56,31 га); гаї – 6 (37,96 га); лісопарки – 3 (384,00 га); сквери – 14 (11,47 га); урочища – 3 (8,23 га); бульвари – 4 (16,63 га), інші об'єкти інфраструктури зеленої зони міста Чернігова обслуговують підприємства ЖКГ та ін. До об'єктів благоустрою міста, що перебувають під опікою комунального

підприємства, належать: 37,66 тис. дерев, 12,9 тис. кущів, 5,2 тис. погонних метрів живоплоту, газони загальною площею 678,08 га (з них 23,7 га — схили), 13,74 га доріжок і сходів у парках і скверах, а також квітники: 0,5 га багаторічних і 0,3 га однорічних.

Природно-заповідний фонд міста Чернігова включає 24 об'єкти та території. До нього входять: 17 ботанічних пам'яток природи (переважно вікові дерева, зокрема Старовинна ялинова алея), 2 гідрологічні пам'ятки природи (озера Глушець і Магістратське), лісовий заказник, регіональний ландшафтний парк «Ялівщина», 2 парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва (Болдині гори та Міський сад), а також заповідне урочище Святе, що має місцевий природоохоронний статус (Потоцька, 2024).

Зелені насадження є невід'ємною частиною міської інфраструктури та відіграють ключову роль у збереженні й покращенні стану довкілля. Вони виконують комплекс важливих функцій, зокрема оздоровчих, рекреаційних і захисних, а також сприяють підтриманню екологічної рівноваги в місті (Карпенко і Свердлов, 2023).

Аналіз динаміки природно-кліматичних умов та даних Чернігівського обласного центру з гідрометеорології свідчить, що клімат у Чернігові помірно континентальний. Він характеризується достатньою кількістю опадів, теплим літом (середньодобова температура +18...+19,5°C) і відносно м'якою зимою (–6...–8°C). Тривалість періоду з температурою понад +10°C становить 150–160 днів на рік, а річна кількість опадів варіюється в межах 500–600 мм.

Кліматичні умови та орографічні особливості Чернігова частково зумовлені високим рівнем обводненості його території та околиць. Це пов'язано з наявністю гідросистем трьох річок – Десни, Стрижня та Білоуса, а також заболочених ділянок у їхніх заплавах, заплавах озер і значних запасів поверхневих підземних вод. Вони відіграють ключову роль у формуванні ерозійних процесів та накопиченні речовин, що беруть активну участь у життєдіяльності водних організмів.

На території міста поширені характерні для Лівобережної України поліські ґрунти, серед яких переважають дерново-підзолисті супіскові ґрунти, що сформувалися на лесових породах (Національний..., 2009).

Згідно з класифікацією міських зелених насаджень, запропонованою В.О. Кучерявим

(Бідолах та ін., 2023), зелені насадження міста поділяються на три основні групи залежно від функціонального призначення:

1) зелені насадження загального користування (парки, сквери, бульвари, набережні, лісопарки та ін.);

2) зелені насадження обмеженого користування (насадження на територіях житлових і громадських будівель, навчальних закладів, установ охорони здоров'я, промислових підприємств тощо);

3) зелені насадження спеціального призначення (насадження уздовж вулиць, у санітарно-захисних і охоронних зонах, на кладовищах, біля ліній електропередач високої напруги, лісомеліоративні насадження, пришляхові насадження, а також захисні, водоохоронні, протипожежні насадження та ін.).

У сучасних умовах урбанізації та інтенсивного розвитку транспорту постійно відбувається забруднення навколишнього середовища (повітря, води, ґрунту), що створює несприятливі умови для життєдіяльності людини (Бідолах та ін., 2023). Відомо, що зелені насадження вулиць мають позитивний екологічний та санітарно-гігієнічний вплив. Вони відіграють важливу роль у формуванні архітектурно-художнього вигляду міста, маючи великий декоративний потенціал.

Насадження загального користування займають провідне місце серед озелених територій міста, оскільки вони безпосередньо впливають на стан міського середовища та служать місцем для відпочинку його мешканців. Зелені насадження вулиць, як і насадження загального користування, виконують важливу оздоровчу та кліматорегулюючу функцію. Останнім часом зросла потреба в використанні вуличних насаджень для очищення повітря, особливо через забруднення міського середовища продуктами згорання бензину та інших видів палива, що спричинено розвитком автомобільного транспорту та його концентрацією в містах.

Дерева, що ростуть на вулицях поблизу джерел забруднення, виступають як бар'єр, що перешкоджає поширенню токсичних речовин. Щільні посадки з кущами також є ефективним захистом, обмежуючи розповсюдження пилу та газів від проїжджої частини.

Чернігів як місто із значною історичною та культурною спадщиною зіткнувся з проблемами інтенсифікації урбанізації та

впливу кліматичних змін. Тому аналіз ролі зелених насаджень у покращенні якості міського середовища є надзвичайно актуальним (Карпенко та ін., 2016).

Таким чином, виникає нагальна потреба в розробці та впровадженні заходів для покращення якості міського озеленення. Аналіз зелених насаджень уздовж вулиць міста виявив значні недоліки як у розподілі дерев за категоріями стану, так і в видовому складі насаджень.

Метою дослідження є ідентифікація та аналіз екосистемних послуг, які надаються вуличними зеленими насадженнями Чернігова, а також розробка рекомендацій для адаптації міського середовища до кліматичних змін.

Матеріал і методи

В основу роботи покладені матеріали експедиційно-польових досліджень, проведених авторами протягом 2022–2024 рр. на територіях спеціального призначення (вуличні насадження) міста Чернігова (рис. 1).

Програма дослідження включала вивчення таксономічного складу дендрофлори, біоморфологічних та екологічних характеристик, а також кількісних показників поширення та частоти трапляння видів на вуличних територіях м. Чернігова. Таксономічний склад дендрофлори визначався безпосередньо в польових умовах за допомогою гербарних зразків з «Колекційного фонду гербарію» кафедри екології, географії та природокористування Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка та за даними літератури.

Для визначення частоти трапляння видів були застосовані методичні підходи М.А. Кохна (Кохно та ін., 2001, 2002, 2005), що передбачають оцінку кількості особин таксону, які ростуть на озелених територіях. У роботі було використано номенклатуру таксонів та їх систематичне походження згідно з «Vascular plants of Ukraine. A nomenclatural checklist» (Plants of the World Online) та «Каталогом дендрофлори України» (Кохно, 2001). Латинські назви дерев і кущів природної флори України наводяться відповідно до визначників рослин.

Для досягнення мети було застосовано міждисциплінарний підхід, що включав такі етапи:

Аналіз літератури. Вивчення сучасних публікацій щодо екосистемних послуг міських насаджень і досвіду інших міст у боротьбі з кліматичними викликами.

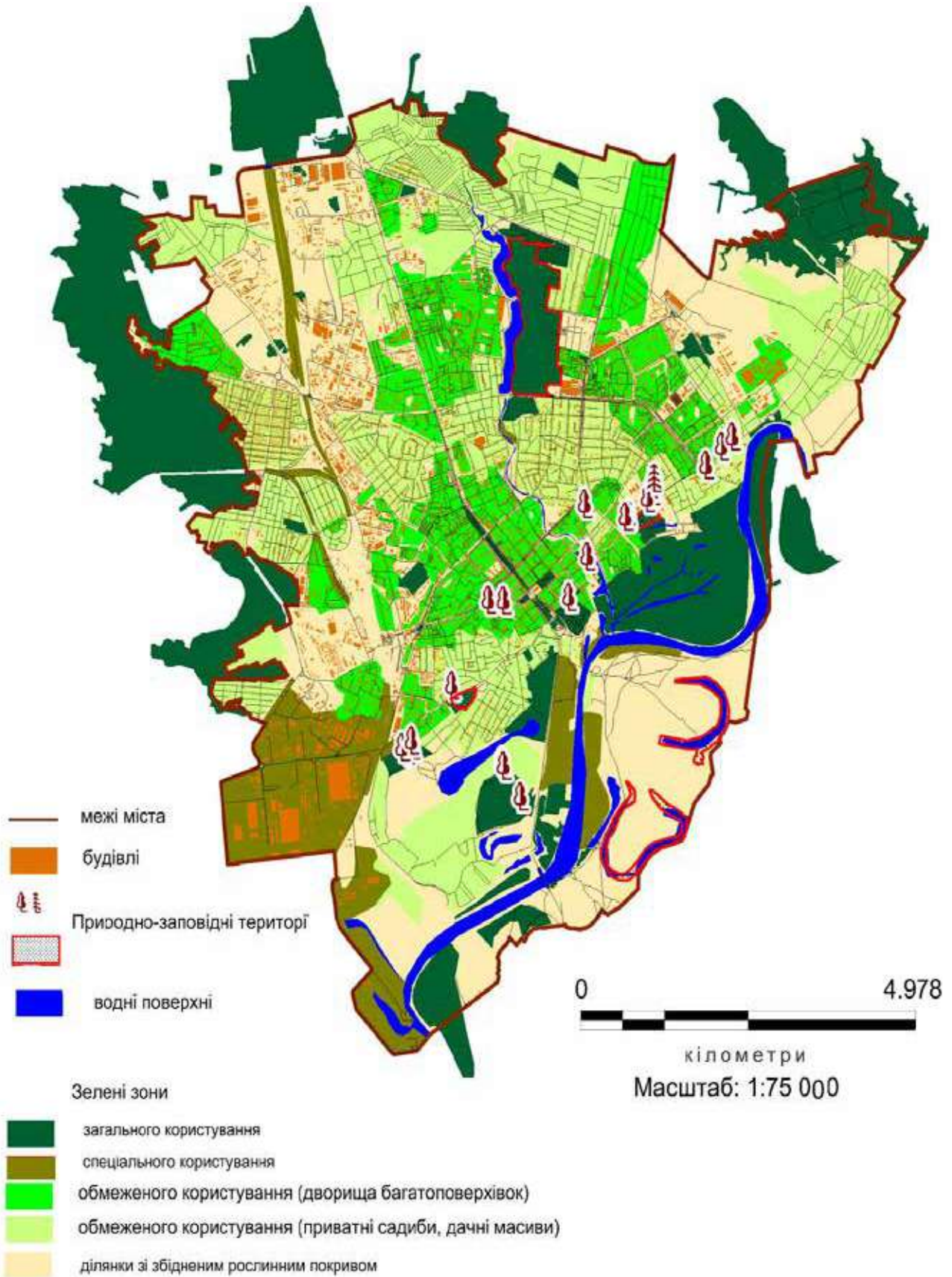


Рис. 1. Картосхема зелених зон міста Чернігова (Чернігівська область, Україна) (Карпенко та ін., 2016)

Інвентаризація насаджень. Обстеження зелених зон Чернігова з оцінкою видового складу, вікової структури та стану дерев і чагарників.

Соціологічні дослідження. Опитування мешканців щодо їхньої оцінки екологічної та естетичної ролі зелених насаджень.

Результати та обговорення

Вуличні зелені насадження Чернігова формують значну частину зеленої інфраструктури міста, включаючи алеї, парки, сквери та окремі озеленені вулиці. Основними видами дерев є *Tilia cordata*, *Acer platanoides*, *Quercus robur*, *Aesculus hippocastanum*, *Populus nigra*, *Robinia pseudoacacia* (табл. 1).

Середній вік дерев коливається від 20 до 60 років, причому більшість насаджень перебуває у задовільному стані. Однак частина дерев страждає від механічних пошко-

джень, посух, шкідників та хвороб. Рівень щільності зелених насаджень у різних районах міста варіюється: у центральній частині спостерігається значна концентрація, тоді як у спальних районах зелена інфраструктура є менш розвиненою (Потоцька, 2024).

Важливим аспектом є стан ґрунтів у місцях насаджень, який часто погіршується через ущільнення, засолення та обмежений доступ до вологи. Незважаючи на це, зелені зони міста мають великий потенціал для підвищення стійкості до кліматичних змін та покращення якості життя мешканців.

Серед життєвих форм (табл. 2) основними групами у складі вуличних насаджень міста Чернігова є дерева, яких налічується 65 видів, зокрема листопадні (47 видів) та вічнозелені (18 видів) (Потоцька, 2011).

Меншою кількістю видів представлені кущі – всього 16 видів, з яких 5 видів – віч-

Таблиця 1
Кількісні показники систематичної структури дендрофлори вуличних насаджень м. Чернігова

№	Родина	Назва роду	% від загальної кількості	Кількість видів	% від загальної кількості
Відділ <i>Pinophyta</i>					
1.	<i>Pinaceae</i> Lindl.	<i>Picea; Pinus</i>	7,7	4; 8	4,9; 9,3
2.	<i>Cupressaceae</i> F. W. Neger.	<i>Chamaecyparis; Juniperus; Platycladus; Thuja Microbiota</i>	19,6	2	2,3
				5	5,8
				1	1,1
				2	2,3
				1	1,1
Відділ <i>Magnoliophyta</i>					
3.	<i>Fagaceae</i> Dumort.	<i>Quercus Fagus</i>	7,7	4 1	4,9 1,1
4.	<i>Betulaceae</i> S. F. Gray.	<i>Betula Alnus</i>	7,7	1 1	1,1 1,1
5.	<i>Corylaceae</i> Mirbel.	<i>Corylus Carpinus</i>	7,7	2 1	2,3 1,1
6.	<i>Juglandaceae</i> A. Rich. et Kunth.	<i>Juglans</i>	3,8	4	4,9
7.	<i>Salicaceae</i> Mirbel.	<i>Populus Salix</i>	7,7	5 15	5,8 22,1
8.	<i>Ulmaceae</i> Mirbel.	<i>Ulmus</i>	3,8	3	3,5
9.	<i>Tiliaceae</i> Juss.	<i>Tilia</i>	3,8	3	3,5
10.	<i>Moraceae</i> Link.	<i>Morus</i>	3,8	2	2,3
11.	<i>Aceraceae</i> Juss.	<i>Acer</i>	3,8	8	9,3
12.	<i>Elaeagnaceae</i> Lindl.	<i>Elaeagnus</i>	3,8	1	1,1
13.	<i>Celastraceae</i> Lindl.	<i>Euonymus</i>	3,8	2	2,3
14.	<i>Rhamnaceae</i> Juss	<i>Rhamnus</i>	3,8	1	1,1
15.	<i>Oleaceae</i> Lindl.	<i>Fraxinus Ligustrum</i>	7,7	3 1	3,5 1,1
16.	<i>Platanaceae</i> Durmort	<i>Platanus</i>	3,8	1	1,1
Усього		26	100	82	100

нозелені, 11 – листопадні. У групі напівкущиків низьких представлений лише один вид. Видів з групи кущів II величини немає.

Аналізуючи показники дослідження за класами висоти, ми визначили, що найбільшу кількість видів становлять дерева I величини, яких в озелененні Чернігова нараховується 27 видів. Серед них є дерева класу *Pinophyta*: *Picea abies*, *P. pungens*, *Pinus banksiana*, *P. strobus* L., *P. sylvestris* та інші, а також *Magnoliophyta*: *Quercus robur*, *Q. rubra* L., *Betula pendula* та інші. Деревя IV величини займають другу позицію, їх налічується 18 видів (*Juniperus communis* L., *Chamaecyparis lawsoniana* Parl., *Chamaecyparis pisifera* Siebold. et Zucc., *Salix caprea* L. тощо). Деревя II величини представлені 15 видами, дерева III величини – 5 видами (*Pinus leucodermis* Ant., *Thuja occidentalis* L., *Salix alba* L., *Tilia americana* L. та інші).

Серед кущів найбільше представлено насаджень I величини — 8 видів (*Picea abies*, *P. pungens*, *Pinus banksiana*, *P. sylvestris*, *Salix tenuifolia* Turch., *S. rosmarinifolia* L. та інші). Кущі II величини налічують 4 види (*Pinus mugo* Turra, *Microbiota decussata*, *Salix matsudana* та інші). Кущі IV величини представлені 4 видами (*Juniperus squamata* Lamb., *J. horizontalis* Moench., *J. sabina* L.), а напівкущики низькі мають лише 1 вид (*Ligustrum vulgare* L.). (Потоцька, 2021; Сverdlov, 2023).

Деревя відіграють важливу роль у біогеохімічному циклі вуглецю, оскільки вони поглинають вуглекислий газ (CO₂) з атмос-

фери через фотосинтез і перетворюють його на органічні сполуки, які накопичуються в різних частинах дерева, таких як стовбури, гілки, листя та коріння. Крім того, дерева виконують ще одну корисну функцію — захищають ґрунт від втрати вуглецю внаслідок ерозії, сприяють покращенню структури та родючості ґрунту, а також підтримують розвиток корисних мікроорганізмів і інших живих організмів.

Вуличні насадження мають значний потенціал для депонування вуглецю та зменшення стоку. Вони утримують 352,42 т вуглецю, що еквівалентно 750972,05 грн, та зменшують стік на 29677,11 га на рік, що відповідає 116136,2 грн.

Серед 82 видів деревних рослин, що найбільше сприяють цим процесам, можна виокремити такі види, які наведені в табл. 3 (Карпенко та ін., 2016, 2022).

У кліматичних умовах міста зелені насадження відіграють важливу роль у зменшенні добових і сезонних коливань приземної температури, регулюванні швидкості вітру, підтриманні відносної вологості повітря та забезпеченні належної вентиляції.

Зокрема, виявлено, що в літній період 2019–2023 років при середній температурі повітря близько 20,8–21,7 °С найнижчий рівень озеленення (0–10%) супроводжувався підвищенням температури поверхні до 35–37 °С. Це підкреслює важливість зелених зон у пом'якшенні мікрокліматичних умов і створенні комфортнішого міського середовища.

Таблиця 2

Розподіл вуличної дендрофлори за класами висоти

Класи висоти	Кількість видів	% від загальної кількості видів	<i>Pinophyta</i>	% від загальної кількості видів <i>Pinophyta</i>	<i>Magnoliophyta</i>	% від загальної кількості видів <i>Magnoliophyta</i>
Деревя I величини (від 25 м і вище)	27	33,4	5	21,7	22	37,8
Деревя II величини (від 15 до 25 м)	15	18,2	4	17,9	11	18,6
Деревя III величини (від 10 до 15 м)	5	6,0	2	8,6	3	5,0
Деревя IV величини (менше 10 м)	18	21,9	7	30,8	11	18,6
Кущі I величини (від 3 м і вище)	8	9,7	–	–	8	13,5
Кущі II величини (від 2 до 3 м)	4	4,8	2	8,6	2	3,3
Кущі IV величини (низькі – менше 1 м)	4	4,8	3	13,0	1	1,6
Напівкущики низькі (до 80 см)	1	1,2	–	–	1	1,6
Усього	82	100	23	100	59	100

Таблиця 3

Характеристика показників накопичення вуглецю й запобігання стоку вуличних насаджень на території міста Чернігова

№	Видова назва	Накопичення вуглецю		Запобігання стоку	
		Одиниця виміру			
		т	грн	(га/рік)	(год/рік)
Відділ Голонасінні (<i>Pinophyta</i>)					
1	Туя західна (<i>Thuja occidentalis</i> L.)	0,11	533,42	12,55	3,26
2	Ялина європейська (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.)	0,16	785,31	160,32	43,92
3	Ялина колюча (<i>Picea pungens</i> Engelm.)	0,15	736,20	154,21	40,09
4	Сосна звичайна (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	0,14	702,51	149,86	38,46
Відділ Покритонасінні (<i>Magnoliophyta</i>)					
5	Клен гостролистий (<i>Acer platanoides</i> L.)	6,89	34 513,58	1 172,78	304,92
6	Клен ясенolistий (<i>Acer negundo</i> L.)	2,66	13 340,84	925,26	240,57
7	Гіркокаштан звичайний (<i>Aesculus hippocasranum</i> L.)	81,72	409 650,31	27780,76	7 223,00
8	Береза повисла (<i>Betula pendula</i> Roth.)	5,39	26 996,52	704,44	183,15
9	Липа серцелиста (<i>Tilia cordata</i> Mill.)	1,71	8 577,14	187,42	48,73
10	Липа великолиста (<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.)	13,35	66 920,08	3 378,67	878,45
11	В'яз шорсткий, в. голий (<i>Ulmus glabra</i> Huds.)	1,16	5 802,94	364,80	94,85
12	В'яз низенький (<i>Ulmus pumila</i> L.)	0,98	4 786,16	276,15	73,79
13	Платан італійський, кленолистий <i>Platanus x hispanica</i> Mill. ex Muenchh	0,31	736,28	304,68	84,42
14	Ясен ланцетний, я. зелений (<i>Fraxinus lanceolate</i> Borkh.)	4,13	20 689,07	1 425,77	370,70
15	Ясен звичайний (<i>Fraxinus excelsior</i> L.)	6,57	32 939,32	2 436,28	633,43
16	Магнолія зірчаста (<i>Magnolia stellata</i> Siebold. Zucc.) Maxim	0,08	414,99	251,25	65,32
17	Вишня звичайна (<i>Cerasus vulgaris</i> Mill.)	0,56	2 786,96	202,64	52,69
18	Груша звичайна (<i>Pyrus communis</i> L.)	0,39	2 893,71	237,75	74,32
19	Яблуня Недзвецького (<i>Malus niedzwetzkyana</i>)	0,21	980,19	214,03	47,91
20	Дуб звичайний (<i>Quercus robur</i> L.)	0,17	847,48	169,25	44,00
21	Дуб червоний, д. північний (<i>Quercus rubra</i> L.)	0,19	886,29	182,27	48,36
22	Тополя біла, т. срібляста (<i>Populus alba</i> L.)	68,72	34 501,31	24 803,76	5 923,00
23	Тополя чорна, осокір (<i>Populus nigra</i> L.)	85,04	44 365,23	25 620,31	6 780,92
24	Тополя італійська (<i>Populus italica</i> (Du Roi) Moench.)	71,62	38 423,09	24 996,63	6372,53
25	Верба біла (<i>Salix alba</i> L.)	0,01	56,83	24,31	6,32

Антропогенний вплив на сучасний рослинний покрив Чернігова досягнув такого значного масштабу, що став однією з ключових причин загальних екологічних змін у місті, які також посилюються сучасними кліматичними змінами. Проблема суттєвого скорочення площі рослинного покриву привертала увагу природоохоронців та громадських активістів, які неодноразово застерігали про можливі негативні наслідки і розвиток несприятливих тенденцій у майбутньому.

Екосистеми Чернігова постійно зазнають значного антропогенного впливу, який додатково посилюється наслідками кліматичних аномалій. Зокрема, протягом останніх десятиліть спостерігається тривожна тенденція: підвищення приземної температури повітря влітку (липень – серпень) супроводжується зменшенням кількості атмосферних опадів. Це створює серйозну загрозу для міських екосистем, деструктивно на них впливаючи. Урахування цих

змін є необхідним при плануванні розвитку міста для збереження та підтримки стабільності міських екосистем.

Висновки

Зелена інфраструктура м. Чернігова демонструє значний потенціал для збереження (депонування) вуглецю та зменшення об'єму стоку. Загальний обсяг депонованого вуглецю становить 352,42 т, що в грошовому вираженні дорівнює 750 972,05 грн. Окрім того, парк щороку сприяє зменшенню стоку на площі 29 677,11 га, що еквівалентно економічній вигоді в розмірі 116 136,2 грн.

Таким чином, вуличні зелені насадження виконують ключову роль не лише у збереженні природного середовища, але й в економії, значно сприяючи депонуванню вуглецю та регулюванню стоків. Отримані результати дослідження свідчать про важливість відповідального підходу до управління функціонуванням вуличних зелених насаджень для забезпечення їхніх цінних екосистемних послуг.

Список використаної літератури

Бідолах Д.І., Васишин Р.Д., Миронюк В.В., Кузьович В.С., Підховна С.М. Оцінювання екосистемних послуг зелених насаджень з використанням інструменту i-Tree Eco. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2023. Т. 33. № 2. С. 07–13. <https://doi.org/10.36930/4033Q201>.

Варуха А. Огляд підходів з оцінки екосистемних послуг через призму їхнього застосування для визначення збитків, завданих військовими діями рф на території України. Львів : «Компанія «Манускрипт», 2022. 56 с.

Василюк О., Варуха А., Куземко А., Мойсієнко І., Коломицев Г., Спрягайло О., Лавріненко К., Сіренко І., Чусова О., Садогурська С., Безсмертна О. Екосистемний добробут: методика обрахунку екосистемних послуг непрямыми методами. Чернівці : Друк Арт, 2023. 184 с.

Карпенко Ю.О., Лукаш О.В., Потоцька С.О., Жиліна Т.М., Яковенко О.І., Івусь Т.І. НДР «Розробка концепції по озелененню міста Чернігова» : Звіт про НДР. Чернівці, 2016. 460 с.

Карпенко Ю.О., Свердлов В.О. Сучасні тенденції та основні проблеми розвитку природних комплексів регіонального ландшафтного парку «Ялівщина» (м. Чернівці) в умовах антропогенних трансформацій та воєнного стану. *Перші практичні дії та проблемні питання реалізації Закону України «Про управління відходами»* : збірник матеріалів Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології», м. Івано-Франківськ, 21–23 листопада 2023 р. Київ : Центр екологічної освіти та інформації, 2023. С. 124–127.

Карпенко Ю., Потоцька С., Свердлов В. Судинні рослини спонтанної флори регіонального ландшафтного парку «Ялівщина» (м. Чернівці). *Biota. Human. Technology*. 2022. № 3. С. 7–18.

Кохно М.А. Каталог дендрофлори України. Київ : Фітосоціоцентр, 2001. 241 с.

Кохно М.А., Гордієнко В.І., Захаренко Г.С., Колесниченко О.В., Кузнєцов С.І. Дендрофлора України. Дикорослі й культивовані дерева й кущі. Голонасінні : довідник. Київ : Вища школа. 2001. Ч. 1. 207 с.

Кохно М.А., Пархоменко А.І., Зарубенко А.У., Вахновська Н.Г. Дендрофлора України. Дикорослі та культивовані дерева й кущі. Покритонасінні : довідник. Київ : Фітосоціоцентр, 2002. Ч. 1. 448 с.

Кохно М.А., Пархоменко А.І., Собко В.Г., Горб В.К. Дендрофлора України. Дикорослі та культивовані дерева й кущі. Покритонасінні : довідник. Київ : Фітосоціоцентр, 2005. Ч. 2. 716 с.

Національний атлас України. Київ : ДНЗ «Картографія». 2009. 440 с.

Потоцька С.О. Інвентаризація та оцінка екосистемних послуг багатовікових дерев міста Чернігова з використанням інструменту I-Tree Eco. *Український журнал природничих наук*. 2024. Вип. 8. С. 58–67. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.8.2024.6>.

Потоцька С. Оптимізація зелених зон територій Чернігівського Полісся. Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка». 2021. 198 с.

Потоцька С. Природна і культивована дендрофлора міста Чернігова : дис. ... канд. біол. наук : 03.00.05. Київ, 2011. 435 с.

Свердлов В.О., Карпенко Ю.О., Потоцька С.О. Види північноамериканського та далекосхідного походження у складі дендрофлори РЛП «Ялівщина». *Сучасні фітосозологічні дослідження в Україні* : зб. наукових праць з нагоди вшанування пам'яті видатного фітосозолога, д-ра біол. наук, проф. Т.Л. Андрієнко-Малюк (1938–2016 рр.). Київ : Талком, 2023. Вип. 7. С. 75–79.

Plants of the World Online. Kew Science. Plants of the World Online [Електронний ресурс]. URL: <http://www.plantsoftheworldonline.org> (дата звернення 19.01.2025).

References

Bidolakh, D.I., Vasylyshyn, R.D., Myroniuk, V.V., Kuzovych, V.S., & Pidkhovna S. M. (2023). Otsiniuvannia ekosystemnykh posluh zelenykh nasadzhenn z vykorystanniam instrumentu i-Tree Eco [Evaluation of ecosystem services of urban green spaces using i-Tree Eco tool]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of UNFU]*, 33, 2, 7–13 [in Ukrainian].

Varukha, A. (2022). Ohliad pidkhodiv z otsinky ekosystemnykh posluh cherez pryzmu yikhnoho zastosuvannia dlia vyznachennia zbytkiv, zavdanykh viiskovymy diiamy rf na terytorii Ukrainy [Review of approaches to the assessment of ecosystem services through the prism of their application to determine the damage caused by the military actions of the Russian Federation on the territory of Ukraine]. Lviv, “Kompaniia “Manuskrypt” [in Ukrainian].

Vasyliuk, O., Varukha, A., Kuzemko, A., Moisiienko, I., Kolomytsev, H., Spriahailo, O., Lavrinenko, Ka., Sirenko, I., Chusova, O., Sadohurska, S., & Bezsmertna, O. (2023). Ekosystemnyi dobrobut: metodyka obrakhunku ekosystemnykh posluh nepriamymy metodamy [Ekosystemnyi dobrobut: metodyka obrakhunku ekosystemnykh posluh nepriamymy metodamy]. Chernivtsi : Druk Art [in Ukrainian].

Karpenko, Yu.O., Lukash, O.V., Pototska, S.O., Zhilina, T.M., Yakovenko, O.I., & Ivus, T. I. (2016) NDR: “Rozrobka koncepciji po ozelenennju mista Chernighova” [Research: “Development of a concept for greening the city of Chernihiv”]. Zvit pro NDR. Chernighiv, 2016. 460 p. [in Ukrainian].

Karpenko, Yu., Pototska, S., & Sverdlov, V. (2022). Sudynni roslyny spontannoji flory regionalnogho landshaftnogho parku «Jalivshhyna» (m. Chernighiv) [Vascular plants of the spontaneous flora of the regional landscape park “Yalivshchyna” (Chernihiv city)]. *BHT: Biota. Human. Technology*, (3), 7–18 [in Ukrainian].

Karpenko, Yu.O., & Sverdlov, V.O. (2023). Suchasni tendenciji ta osnovni problemy rozvytku pryrodnykh kompleksiv regionalnogho landshaftnogho parku “Jalivshhyna” (m. Chernighiv) v umovakh antropoghennykh transformacij ta vojennogho stanu. Pershi praktychni diji ta problemni pytannja realizaciji Zakonu Ukrainy “Pro upravlinnja vidkhodamy” [Current trends and main problems of development of natural complexes of the regional landscape park “Yalivshchyna” (Chernihiv city) in conditions of anthropogenic transformations and martial law. First practical actions and problematic issues of implementation of the Law of Ukraine “On Waste Management”]: zbirka materialiv Nacionalnogho forumu “Povodzhennja z vidkhodamy v Ukraini: zakonodavstvo, ekonomika, tekhnologhiji” (m. Ivano-Frankivsk, 21–23 lystopada 2023 r.). Kyjiv : Centrekologichnoji osvity ta informaciji, 124–127 [in Ukrainian].

Kokhno, M.A. (2001). Kataloh dendroflory Ukrainy [Catalogue of dendroflora of Ukraine]. Kyiv : Fitosotsiotsentr [in Ukrainian].

Kokhno, M.A. (Ed.), Parkhomenko, L.I., Zarubenko, A.U., Vakhnovska, N.H., Horelov, O.M., Klymenko, S.V., & Shumyk, M.I. (2002). Dendroflora Ukrainy. Dykorosli ta kultyvovani dereva y kushchi. Pokrytonasinni [Dendroflora of Ukraine. Wild and cultivated trees and bushes. Angiosperms]. Kyiv : Fitosotsiotsentr, Vol. 1 [in Ukrainian].

Kokhno, M.A. (Ed.), Trofymenko, N.M., Parkhomenko, L.I., Sobko, V.H., Horb, V.K., Klymenko, S.V., & Halkin, S.I. (2005). Dendroflora Ukrainy. Dykorosli ta kultyvovani dereva y kushchi. Pokrytonasinni [Dendroflora of Ukraine. Wild and cultivated trees and bushes. Angiosperms]. Kyiv : Fitosotsiotsentr, Vol. 2 [in Ukrainian].

Kokhno, M.A., Hordiienko, V.I., Zakharenko, H.S., Kolesnychenko, O.V., & Kuznietsov, S.I. (2001). Dendroflora Ukrainy. Dykorosli y kultyvovani dereva y kushchi. Holonasinni [Dendroflora of Ukraine. Wild and cultivated trees and bushes. Holonasinny]. Kyiv : Vyshcha shkola, Vol. 1 [in Ukrainian].

Nacional'nyj atlas Ukrainy (2009). [National Atlas of Ukraine]. DNZ "Kartografiya" [in Ukrainian].

Pototska, S.O. (2024). Inventaryzacija ta ocinka ekosystemnykh poslugh baghatovikovykh derev mista Chernihova z vykorystannjam instrumentu I-Tree Eco [Inventory and assessment of ecosystem services of centuries-old trees in the city of Chernihiv using the i-Tree Eco tool]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychych nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 8, 58–67. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.8.2024.6> [in Ukrainian].

Pototska, S. (2021). Optymizacija zelenykh zon terytorij Chernighivskogho Polissja [Optimization of green zones in the territories of Chernihiv Polissya]. NU "Chernighivska politehnika" [in Ukrainian].

Pototska, S.O. (2011). Pryrodna i kultyvovana dendroflora mista Chernihova [Natural and cultivated dendroflora of Chernihiv]. *Candidate's thesis*. Natsionalnyi botanichniy sad imeni M.M. Hryshka NAN Ukrainy. Kyiv [in Ukrainian].

Sverdlov, V.O., Karpenko, Yu.O., & Pototska, S.O. (2011). Vydy pivnichno-amerykanskogho ta dalekoskhidnogho pokhodzhennja u skladi dendroflory RLP "Jalivshhyna" [Species of North American and Far Eastern origin in the dendroflora of the "Yalivshchyna" RLP]. Suchasni fitosozologichni doslidzhennja v Ukraini: zb. naukovykh pracj z naghody vshanuvannja pam'jati vydatnogho fitosozologa, d-ra biol. nauk, prof. T.L. Andrijenko-Maljuk (1938–2016 rr.) [Modern phytosozological research in Ukraine: coll. scientific works on the occasion of honoring the memory of the outstanding phytosozologist, Dr. Biol. Sciences, Prof. T.L. Andrienko-Malyuk (1938–2016)]. Kyiv : Talkom [in Ukrainian].

Plants of the World Online Kew Science. Plants of the World Online. [Electronic resource] URL: <http://www.plantsoftheworldonline.org> (access date 19.01.2025) [in English].

Отримано: 23.01.2025

Прийнято: 07.02.2025



УДК 574.4

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.33>

АНТРОПОГЕННА ТРАНСФОРМАЦІЯ ПОХІДНИХ ЛІСІВ КЛАСУ *ROBINIETEA* НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

І. В. Хом'як¹

Стаття присвячена вивченню рівня антропогенної трансформації похідних лісів Українського Полісся. Метою дослідження є визначення рівня антропогенної трансформації різних типів похідних лісів на території Українського Полісся, взаємозв'язок із нею чинників навколишнього середовища та її впливу на природну динаміку. Відповідно до мети було поставлено такі завдання: здійснити класифікацію похідних лісів відповідно до принципів школи Браун-Бланке; визначити рівень антропогенної трансформації екосистем похідних лісів; дослідити взаємозв'язок антропогенної трансформації екосистем похідних лісів із провідними факторами середовища; встановити вплив антропогенної трансформації на показники природної динаміки екосистем; визначити основні правила корекції природного самовідновлення лісової рослинності на стадії похідних лісів. У результаті дослідження встановлено, що фітоценотичне різноманіття похідних лісів класу *Robinietae* включає в себе 2 порядки, 5 союзів 8 асоціацій. Похідні ліси класу *Robinietae* займають екотопи стенотопні за усіма едафічними факторами, крім кількості доступного нітрогену, і евритопні за антропогенною трансформацією та показником природної динаміки. Рівень антропогенної трансформації похідних лісів класу *Robinietae* коливається від 10,17 до 5,87 бала при середньому значенні 7,88 бала, що за класифікацією Блюме – Сукопа відповідає проміжку між олігогемеробією і еугемеробією. Більшість похідних із рослинністю цього класу перебуває в зоні мезогемеробії. Між показниками антропогенної трансформації та природної динаміки спостерігається обернено лінійна залежність із коефіцієнтом кореляції 0,64. Положення екосистем із рослинністю *Robinietae* в едафо-динамічній моделі відрізняється перспективами подальшого суцесійного розвитку. Інвазійні види-едифікатори трансформуватимуть екосистеми в стан катастрофічного клімаксу. Аборигенні види на рівних ділянках помірно багатих ґрунтів вестимуть екосистему до енергетичного клімаксу найкоротшим шляхом.

Ключові слова: гемеробія, фітоценози, чинники середовища, інвазійні види.

¹ доктор біологічних наук, професор,
професор кафедри ботаніки, біоресурсів і збереження біорізноманіття
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: ecosystem_lab@ukr.net
ORCID: 0000-0001-6429-1028

ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF DERIVED FORESTS OF THE ROBINIETEA CLASS ON THE TERRITORY OF THE UKRAINIAN POLISSIA

I. V. Khomiak

The article is devoted to studying the level of anthropogenic transformation of primary forests of Ukrainian Polissia. The purpose of the study is to determine the level of anthropogenic transformation of different types of derived forests in the territory of Ukrainian Polissia, the relationship of environmental factors with it, and its impact on natural dynamics. In accordance with the goal, the following tasks were set: to classify derived forests according to the principles of the Brown-Blanke school; To determine the level of anthropogenic transformation of derived forest ecosystems; To investigate the relationship of anthropogenic transformation of derived forest ecosystems with leading environmental factors; To establish the impact of anthropogenic transformation on indicators of natural ecosystem dynamics; To determine the basic rules for correcting natural self-renewal of forest vegetation at the stage of primary forests. As a result of the study, it was established that the phytocenotic diversity of derived forests of the Robinietea class includes 2 orders, 5 unions, and 8 associations. Derived forests of the Robinietea class occupy stenotopic ecotopes according to all edaphic factors except the amount of available nitrogen and eurytopic according to anthropogenic transformation and the indicator of natural dynamics. The level of anthropogenic transformation of derived forests of the Robinietea class ranges from 10.17 to 5.87 points with an average value of 7.88 points, which according to the Blume-Sukopp classification corresponds to the interval between oligohemerobia and euhemerobia. Most derivatives with vegetation of this class are in the mesohemerobia zone. There is an inverse linear relationship between the indicators of anthropogenic transformation and natural dynamics with a correlation coefficient of 0.64. The position of ecosystems with Robinietea vegetation in the edapho-dynamic model is distinguished by the prospects for further successional development. Invasive edificator species will transform ecosystems into a state of catastrophic climax. Native species on flat areas of moderately rich soils will lead the ecosystem to energy climax by the shortest route.

Key words: hemerobia, phytocenoses, environmental factors, invasive species.

Вступ

На сьогодні наукове середовище та громадськість визнають, що навколишнє середовище є занадто трансформованим і це має негативні наслідки для життя, здоров'я та добробуту українців. Отже, перед нами стоїть задача не лише зберегти природні екосистеми, а й збільшити їхні площі та якість. В умовах дефіциту ресурсів актуальним є використання методів, які є найбільш надійними й ефективними. Сьогодні все більше говорять про переваги самовідновлення порушених екосистем як ефективний метод покращення стану довкілля (Хом'як і Овдіюк, 2024). Однак, як показують дослідження останніх десятиліть, цей процес не настільки однотипний та прогнозований. Твердження прихильників «строкої заповідності», про те, що для покращення стану природних екосистем достатньо просто ізолювати їх від людини, виявилось хибним.

Ми маємо багато прикладів, коли ізоляція від людської діяльності природних екосистем веде до зниження їхнього видового різноманіття, погіршення енергетичних показників, вертикальної та горизонтальної структури, зниження обсягу екосистемних

послуг і навіть до катастрофічного клімаксу (Хом'як, 2024). Ланцюги автогенної сукцесії проходять через низку точок біфуркації, в яких вектори динаміки можуть повернути вбік від екосистем із високим дебетом екосистемних послуг. Однією із таких точок є похідні ліси.

Стан похідних лісів може визначати подальший перехід до вищих стадій автогенної сукцесії, яка супроводжує природне самовідновлення порушених екосистем. Такий стан разом із комплексом провідних факторів середовища визначає темп наближення до енергетичного клімаксу. Зростання антропогенного впливу призводить до синантропізації флори похідних лісів. Часто це завершується станом катастрофічного клімаксу. Ця проблема стає особливо актуальною в умовах російської агресії, коли велика частина природних угідь постраждала від бойових дій та потребує відновлення (Khomiak et al., 2023).

Метою роботи є визначення рівня антропогенної трансформації різних типів похідних лісів на території Українського Полісся, взаємозв'язку із нею чинників навколишнього середовища та її впливу на природну

динаміку. Відповідно до мети було поставлено такі завдання:

1) здійснити класифікацію похідних лісів відповідно до принципів школи Браун-Бланке;

2) визначити рівень антропогенної трансформації екосистем похідних лісів;

3) дослідити взаємозв'язок антропогенної трансформації екосистем похідних лісів із провідними факторами середовища;

4) встановити вплив антропогенної трансформації на показники природної динаміки екосистем;

5) визначити основні правила корекції природного самовідновлення лісової рослинності на стадії похідних лісів.

Матеріал і методи

Матеріалами дослідження є 149 стандартних геоботанічних описів (Якубенко та ін., 2020), зроблених на території Українського Полісся в період із 2004 до 2023 року.

Класифікація рослинних угруповань здійснювалася за принципами еколого-флористичної школи Браун-Бланке (Westhoff & Maarel, 1973). Ідентифікація виділених фітоценонів проводилася із використанням «Продромусу рослинності України» (Дубина, 2019). Для обробки і збереження фітоценотичних даних використовувалася програма TURBOVEG for Windows (Hennekens, 2009).

Показники факторів середовища визначали за допомогою методів синфітоіндикації (Дідух і Плюта, 1994). Для цього було використано дві фітоіндикаційні шкали: для основних абіотичних факторів – шкала Дідуха – Плюти (Дідух і Плюта, 1994), для антропогенного фактора – шкала Дідуха – Хом'яка (Khomiak et al., 2024). Показник динаміки визначався за оригінальною авторською методикою (Khomiak et al., 2019). Базою даних щодо фітоіндикаційних характеристик видів рослин є база EcoDBase5e лабораторії теорії екосистем

Житомирського державного університету імені Івана Франка. Аналіз проводився із використанням програми Simargl 1.12. Моделювання динаміки екосистем здійснювалося в середовищі Python з використанням програми Visual Studio 2022.

Результати

Ми розглядаємо похідні ліси виключно в межах класу рослинних угруповань *Robinietae Jurco ex Hadac et Sofron 1980*. Якщо використовувати поняття похідних лісів досить широко, то до них можна віднести прирусові вербові та вільхові ліси, лісові болота, молоді бореальні та неморальні ліси. Однак прирусові ліси в аспекті їхнього місця та ролі у процесі самовідновлення слід розглядати окремо, оскільки умови середовища та положення в суцесійних серіях значно відмінні. Ділянки прирусових лісів протягом тривалого часу не зміщуються в бік енергетичного клімаксу, не піднімаючись вище стадії перестійних заплавних дібров. Повний цикл автогенного розвитку можуть проходити лише ті території, де умови середовища наближені до умов клімаксового оптимуму. Молоді корінні ліси залишаються практично незмінними щодо видового складу та структури своїх екосистем. Лише ліси класу *Robinietae* є ключовою точкою, в якій перетинаються вектори динаміки, чутливі до антропогенного тиску. Фітоценотичне різноманіття класу *Robinietae* включає в себе 2 порядки, 5 союзів 8 асоціацій (табл. 1).

Рівень антропогенної трансформації в екосистемах із автотрофним блоком у вигляді рослинності класу *Robinietae* коливається від 10,17 до 5,87 бала. Її середнє значення дорівнює 7,88 бала (табл. 2). За класифікацією Блюме – Сукопа такі екосистеми можна віднести до різних класів антропогенності (гемеробії). Мінімальні значення перекриваються із зоною олігогемеробії

Таблиця 1

Фітоценотичне різноманіття класу *Robinietae*

Порядок	Союз	Асоціація
<i>Chelidonio-Robinietalea pseudoacaciae</i>	<i>Balloto nigrae-Robinion pseudoacaciae</i>	<i>Chelidonio-Pinetum sylvestris</i>
	<i>Chelidonio-Acerion negundi</i>	<i>Chelidonio-Aceretum negundi</i>
	<i>Chelidonio majoris-Robinion pseudoacaciae</i>	<i>Chelidonio-Robinietum</i>
		<i>Impatienti parviflorae-Robinietum</i>
		<i>Sambuco nigrae-Robinietum</i>
	<i>Geo-Acerion platanoidis</i>	<i>Geo-Aceretum platanoidis</i>
<i>Sambucetalia racemosae</i>	<i>Sambuco-Salicion capreae</i>	<i>Sambucetum racemosae</i>
		<i>Salicetum capreae</i>

Таблиця 2

Показники факторів середовища та показників динаміки угруповань класу *Robinietaea*

Показники факторів	HE	HD	FH	RC	SL	CA	NT	AE	LC	ST
Середнє	7,88	11,80	6,14	7,37	6,74	6,49	6,28	6,55	6,57	10,15
Максимум	10,17	12,84	7,79	8,33	7,98	7,39	8,22	8,90	7,53	14,38
Мінімум	5,87	10,42	4,55	5,68	5,18	5,26	4,08	5,55	4,72	5,79
Амплітуда	4,30	2,42	3,24	2,65	2,80	2,13	4,14	3,35	2,81	8,59

Примітки: HE – показник антропогенної трансформації; HD – багаторічний режим зволоження; FH – змінність зволоження; RC – кислотність; SL – загальний сольовий режим; CA – вміст карбонатів; NT – вміст доступного нітрогену, AE – аерація ґрунту, LC – освітленість поверхні ґрунту, ST – показник природної динаміки

(3–6 балів), де перебувають екосистеми, сформовані під мінімальним антропогенним тиском. Максимальні значення відповідають еугемеробії (9–12 балів), де розташовані напівприродні або сильно синантропізовані природні екосистеми. Однак більшість екосистем із рослинністю цього класу перебуває в зоні мезогеміробії (6–9 балів), характерної для природних екосистем із помітною присутністю антропогенного впливу.

Здатність угруповань похідних лісів проявляти досить широкий діапазон антропо-толерантності відобразилась на амплітуді показників антропогенної трансформації в 4,3 бала. Більшу амплітуду проявляє лише показник природної динаміки (8,59 бала). Така різниця в крайніх значеннях останнього пояснюється проміжним становищем похідних лісів. Їх можна ідентифікувати вже на стадії заростання злаковників фанерофітами, коли показник динаміки буде в проміжку 5–9 балів, і в стиглих осикових чи березових лісах, коли він підніметься вище 12 балів. Решта показників середовища має амплітуду показників, яка міняється від 2,13 бала для вмісту у ґрунтах карбонатів до 4,14 для доступного нітрогену. Відносно широка амплітуда вмісту нітрогену зумовлена тим, що тут можуть домінувати як види, пристосовані до бідних на нітрата та

аміак ґрунту, так і види, що активно взаємодіють із нітрофіксуючими бактеріями. Отже, похідні ліси класу *Robinietaea* займають екотопи стенотопні за усіма едафічними факторами, крім кількості доступного нітрогену, і евритопні за антропогенною трансформацією та показником природної динаміки.

Великі амплітуди показників антропогенної трансформації, природної динаміки та доступного нітрогену пов'язані з наявністю в межах класу досить відмінних за цими параметрами асоціацій. За середніми значеннями ми бачимо групу асоціацій, яка має високі показники антропогенної трансформації (табл. 3). Це *Chelidonio-Aceretum negundi* (8,06), *Chelidonio-Robinietaea* (8,94), *Impatienti parviflorae-Robinietaea* (8,09), *Sambuco nigrae-Robinietaea* (8,11). Низькі середні показники мають *Chelidonio-Pinetum sylvestris* (6,88), *Geo-Aceretum platanoidis* (7,76), *Sambucetum racemosae Salicetum capreae* (7,46). За винятком асоціацій *Salicetum capreae* та *Chelidonio-Aceretum negundi*, усі вони досить стенотопні за антропогенним фактором. Для асоціації *Salicetum capreae* амплітуда дорівнює 3,09 бала, що становить 39% шкали, а для *Chelidonio-Aceretum negundi* – 2,92 бала, або 16%. Для решти асоціацій вона коливається від 1,23

Таблиця 3

Показники антропогенної трансформації для асоціацій класу *Robinietaea*

Асоціація	Статистичні показники			
	Середнє	Максимум	Мінімум	Амплітуда
<i>Chelidonio-Pinetum sylvestris</i>	6,88	7,75	6,21	1,54
<i>Chelidonio-Aceretum negundi</i>	8,06	9,60	6,68	2,92
<i>Chelidonio-Robinietaea</i>	8,94	10,17	7,78	2,39
<i>Impatienti parviflorae-Robinietaea</i>	8,09	9,29	7,59	1,70
<i>Sambuco nigrae-Robinietaea</i>	8,11	8,65	7,28	1,37
<i>Geo-Aceretum platanoidis</i>	7,76	8,64	6,87	1,77
<i>Sambucetum racemosae</i>	7,81	8,78	7,52	1,26
<i>Salicetum capreae</i>	7,46	8,96	5,87	3,09

до 2,39 бала, або від 7 до 13% шкали. При цьому *Chelidonio-Robinetum* із амплітудою 2,39 (13% від шкали) займає проміжне становище між двома групами.

Рівень антропогенної трансформації та його амплітуда для окремих асоціацій рослинних угруповань залежить від їхнього походження. Асоціація *Chelidonio-Pinetum sylvestris* виникає внаслідок інвазії *Robinia pseudoacacia* L. в соснові насадження. Найчастіше страждають сосново-зеленомошні ліси асоціації *Dicrano-Pinetum* Preising et Knapp ex Oberdorfer 1957 класу *Vaccinio-Piceetea* (Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939). Спочатку утворюється варіант асоціації *Dicrano-Pinetum* var. *Robinia pseudoacacia*. З часом площі робінії звичайної зростають, а моховий покрив замінюється на типову нітрофільну свиту класу *Robinietaea*. Незважаючи на зафіксований дослідниками перехід до асоціації *Chelidonio-Pinetum sylvestris*, у флорі угруповання залишаються несинантропізовані елементи. Це призводить до того, що показники антропогенної трансформації коливаються у вузькому діапазоні (амплітуда 1,54 бала) між 6,21 та 7,75 бала.

Перетворення інших асоціацій соснових лісів (клас *Vaccinio-Piceetea*) на асоціацію *Chelidonio-Pinetum sylvestris* відбувається набагато рідше. Для цього потрібен антропогенний вплив певного типу. Наприклад, за наявності насінневої діаспори *Robinia pseudoacacia* із сусідніх екосистем та засмічення органічними відходами на таке угруповання може перетворитися асоціація *Cladonio-Pinetum* Juraszek 1927. За наявності активної насінневої інвазії, пов'язаної із насадженням *Robinia pseudoacacia*, лісовими господарствами на своїх підсобних територіях та навколо центральних садіб трансформуватися в *Chelidonio-Pinetum sylvestris* можуть і інші асоціації. Це можуть бути *Peucedano-Pinetum* W. Mat (1962) 1973, *Veronico incanae-Pinetum* Bulokhov et Solomeshch 2003, *Molinio-Pinetum* Matuszkiewicz (1973) 1981 (класу *Vaccinio-Piceetea*); *Quercu robori-Pinetum* Matuszkiewicz 1981 та *Serratulo-Pinetum* (W. Mat. 1981) J. Mat. 1988 (класу *Quercetea robori-petraeae* Br.-Bl. et Tüxen ex Oberdorfer 1957); *Hieracio pilosellae-Pinetum* Polishko 2005 (класу *Pyrolo-Pinetea sylvestris* Korneck 1974).

Другою в кінці рейтингу середньої величини антропогенної трансформації стоїть асоціація *Salicetum capreae*. Це найпоширеніший природний варіант відновлення

лісової рослинності за рахунок аборигенних видів. Широка амплітуда показників антропогенної трансформації зумовлена тим, що угруповання цієї асоціації можуть утворюватися в місцях, де присутність людини дуже низька (наприклад, схили лесових балок) і дуже висока (перелоги в місцях інтенсивної рекреації). У першому випадку це може бути варіант асоціації *Salicetum capreae* var. *Cystopteridetum fragilis*. Для нього середнє значення показника антропогенної трансформації дорівнює 6,65 бала, а амплітуда становить 1,58 (5,87–7,45). Для варіанту *Salicetum capreae* var. *typicum* середнє значення рівне 7,65, амплітуда – 2,87 (8,96–6,09). Слід додати, що за сприятливих умов протягом 50–90 років ця асоціація пройде шлях від молодих дерево-чагарникових утворень за участі *Salix caprea* L., *Betula pendula* Roth. та *Populus tremula* L. до перестійних березових чи осикових лісів. У віддалених районах Словечансько-Овруцького кряжу є ділянки березових та осикових лісів, у яких людська присутність не відмічається роками (Гарбар та ін., 2024). Саме такі ділянки є мезомеробними екосистемами із показником антропогенної трансформації трохи більше 6 балів.

Висока амплітуда показника антропогенної трансформації для асоціації *Chelidonio-Aceretum negundi* пов'язана із місцем інвазії *Acer negundo* L. Досить часто мішенями для його проникнення є прибережні чагарники. Ця асоціація поступово витісняє природні верболози із їхніх традиційних екоотопів. Другим найбільш популярним для асоціації місцем є придорожні зарості та недоглянуті ділянки в населених пунктах. Ці дві групи екоотопів дуже сильно відрізняються за показником антропогенної трансформації, що і є причиною зростання його амплітуди до 2,92 бала.

Досить невисоку амплітуду показника антропогенної трансформації має асоціація *Geo-Aceretum platanoidis*. Найчастіше це території населених пунктів із типовою неморальною, але дуже сильно антропізованою рослинністю. Цю асоціацію можна визнати проміжним варіантом між класом *Robinietaea* та класом *Carpino-Fagetea sylvaticae* Jakucs ex Passarge 1968. Тут можуть бути справді похідні ліси, в яких відбувається інтенсивна синантропізація флори при збереженні видів-едифікаторів неморальних лісів *Acer platanoides* L., *Acer pseudoplatanus* L. *Tilia cordata* Mill. *Ulmus*

laevis Pall. *Ulmus glabra* Huds. Однак це можуть бути і сильно синантропізовані угруповання класу *Carpino-Fagetia sylvaticae*, які втратили свій блок характерних видів.

Найбільш антропогенно трансформованими є угруповання асоціації *Chelidonio-Robinetum*. Навіть найменш вражена людська діяльність тут має показник антропогенної трансформації 7,78, що вище за середні значення майже половини інших асоціацій. До похідних лісів асоціації входять ті, які утворилися в процесі самовідновлення рослинності на порушених екотопах, ті, які виникли в результаті цілеспрямованого насадження *Robinia pseudoacacia*, а також ті, які є наслідком інвазії цього виду в оселища аборигенних видів. Такі розбіжності за походженням і за антропогенним впливом є причиною досить великої амплітуди показників антропогенної трансформації.

Асоціація *Sambucetum racemosae* є найбільш синантропізованою серед утворених аборигенними видами. Найчастіше це чагарникові або дерево-чагарникові угруповання, які мають за своєю морфологією мало нагадувати похідні ліси. Однак у більшості випадків на дерново-підзолистих ґрунтах рослинність цієї асоціації формується після вирубок. Спостереження показують, що найбільша концентрація особин *Sambucus racemosa* L. зосереджена на ділянках із недогорілим гіллям, зібраним у купи в процесі рубок. Це дозволяє припустити часткову пірогенну та органогенну залежність. На сірих лісових ґрунтах угруповання цієї асоціації трапляються рідше і пов'язані з відновленням порушеної рослинності на добре інсольованих територіях пустирів. Якщо наступною стадією автогенної сукцесії для асоціацій порядку є катастрофічний клімакс у вигляді робінієвого лісу, а для асоціації *Salicetum capreae* березові або осикові ліси, то після асоціації *Sambucetum racemosae* на бідних ґрунтах можуть формуватися соснові або сосново-дубові ліси класів *Vaccinio-Piceetea* та *Quercetea roboretanae*. Через це на дерново-підзолистих ґрунтах ця асоціація формується в результаті одноразового антропогенного впливу.

Асоціації *Impatiens parviflorae-Robinetum* та *Sambuco nigrae-Robinetum* є певною мірою спорідненими із *Chelidonio-Robinetum*. Основна їхня відмінність полягає у вертикальній структурі деревного покриву та деяких едафічних факторах. Показники загального сольового режиму для асоціації

Impatiens parviflorae-Robinetum максимальні в межах цього класу – 7,24 бала. Проективне покриття деревних ярусів досить високе і перевищує 75%, що призводить до домінування у трав'яному покриві тіньовитривалих та тіньолюбних видів. Також тут трапляється багато антропотолерантних видів, характерних для класу *Carpino-Fagetia sylvaticae*. Асоціація *Sambuco nigrae-Robinetum* вирізняється дуже високим вмістом доступного рослинам нітрогену (нітратів та солей амонію) – 7,53 бала. У ній розвивається потужний чагарниковий ярус. Через те що усі фанерофітні яруси мають високе проективне покриття, інколи її угруповання є мертвопокровними. Однак розрідженні та узлісні ділянки переповнені нітрофільними рослинами. Нітроген у таких угрупованнях може бути як антропогенного походження (звалища органічних відходів, змив нітросполук із сільськогосподарських угідь), так і природного (симбіотичні із *Robinia pseudoacacia* нітрофіксуючі бактерії).

Окремим питанням є залежність між рівнем антропогенної трансформації та провідними показниками едафічних факторів. Ці взаємозв'язки вказують не лише на екологічні спектри та ординаційні поля похідних лісів, а й на зв'язок між умовами середовища та антропогенною активністю в певних екотопах. Так, між показниками антропогенної трансформації та багаторічного режиму зволоження спостерігається обернено лінійна залежність із коефіцієнтом кореляції 0,53 (рис. 1). Отже, чим вологішими будуть екотопи із похідними лісами, тим менше вони приваблюватимуть людину. Це ми спостерігаємо, наприклад, у різниці між рекреованими та рудералізованими ділянками менш зволжених похідних лісів і прибережно-водними й дещо перезволженими.

Складніша ситуація із ґрунтовим нітрогеном. Між показниками антропогенної трансформації та вмісту доступного нітрогену спостерігається пряма лінійна залежність із коефіцієнтом кореляції 0,57 (рис. 3). Ми маємо три процеси, які зумовлюють цю залежність. З одного боку, це поширення людиною нітрогеновмісних органічних відходів. З другого боку, це те, що більшість характерних видів класу *Robinetea* є рослинами-нітрофілами. З третього, домінуючий вид-едафікатор цього класу *Robinia pseudoacacia* знаходиться в симбіозі із чисельними нітрофіксуючими бактеріями.

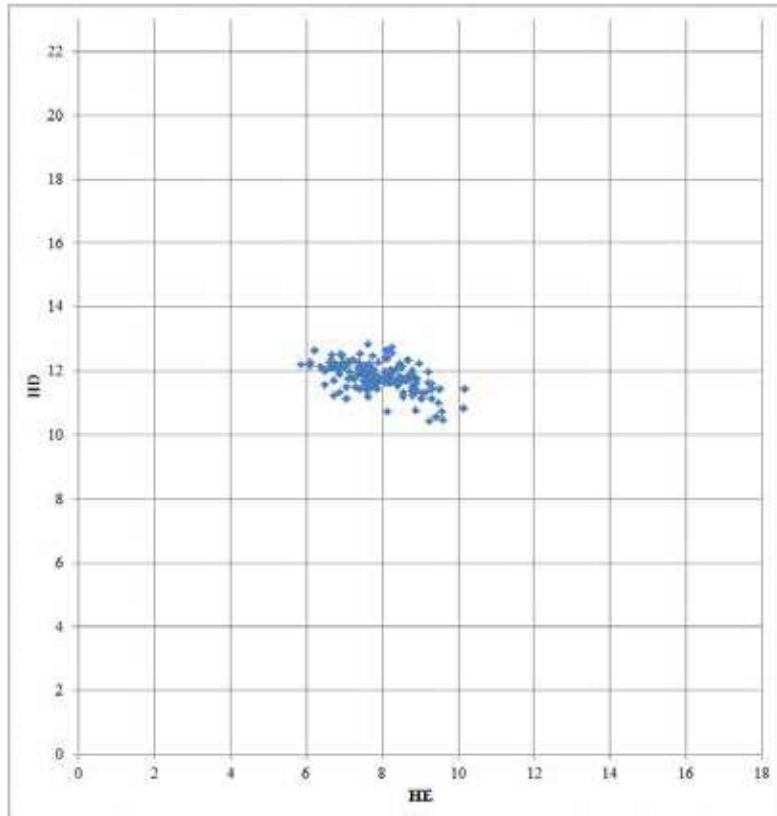


Рис. 1. Взаємозв'язок між показником антропогенної трансформації та показником багаторічного режиму зволоження

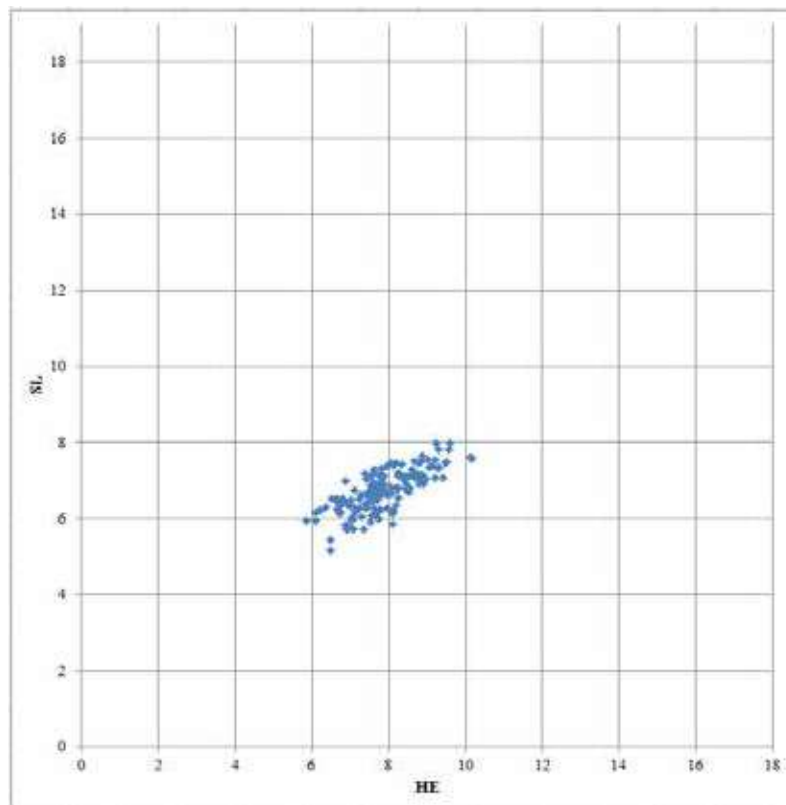


Рис. 2. Взаємозв'язок між показником антропогенної трансформації та показником загального сольового режиму

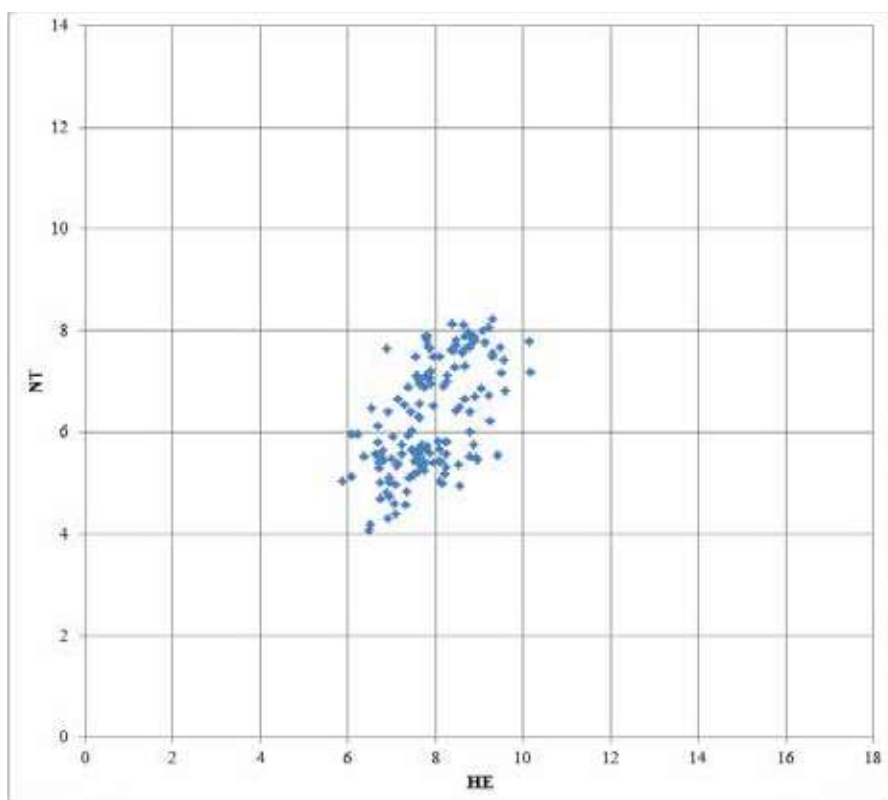


Рис. 3. Взаємозв'язок між показником антропогенної трансформації та показником вмісту доступного нітрогену

Антропогенна діяльність часто спрямована проти векторів автогенної сукцесії, яка супроводжує відновлення природної рослинності. Між показниками антропогенної трансформації та природної динаміки спостерігається обернена лінійна залежність із коефіцієнтом кореляції 0,64 (рис. 4). Максимальні значення показника природної динаміки, зафіксовані нами, радше є показниками катастрофічного клімаксу. Ідеться про описи, які знаходяться в проміжку між 12 і 13 балами. Це відбувається лише у випадку, коли ці угруповання належать до порядку *Chelidonio-Robinietales*. Значення 14,38 бала, отримані нами для опису в районі села Городець Коростенського району, належить варіанту асоціації *Salicetum capreae* var *Cystopteridetum fragilis*, який переходить із стану похідного дрібнолистяного лісу до корінного широколистяного лісу.

Обговорення

У 2019 році консолідованим рішенням українських фітоценологів під впливом позиції європейської геоботанічної науки до класу *Robinietales* було приєднано порядок *Sambucetalia racemosae* із класу *Epilobietea angustifolii* Tx. et Preising ex von Rochow 1951 (Matuszkiewicz, 2001). У результаті

такої операції в класі *Epilobietea angustifolii* залишилися угруповання, які займають проміжне становище між злаковниками і угрупованнями фанерофітів – куничникове й знітове високотрав'я, а також малиники. У класі *Robinietales* зібрані саме похідні ліси. Винятком може виглядати лише асоціація *Sambucetum racemosae*. Однак похідні ліси цього класу розділені на два порядки, які досить сильно відрізняються за екологічними характеристиками. До порядку *Chelidonio-Robinietales pseudoacaciae* відносяться екосистеми, автотрофні блоки яких сформовані за участі інвазійних видів-трансформерів. До порядку *Sambucetalia racemosae* відносять похідні ліси, сформовані аборигенною флорою. Так, для порядку *Sambucetalia racemosae* середні значення показника антропогенної трансформації дорівнюють 7,48 бала, для порядку *Chelidonio-Robinietales pseudoacaciae* – 8,27.

Отже, з одного боку, ми маємо логічний привід для об'єднання усіх похідних лісів у один клас, а з іншого боку, ми бачимо значні відмінності між двома порядками в показниках антропогенної трансформації (Хом'як, 2016). Крім того, асоціація *Salicetum capreae* об'єднує багато досить відмінних за параме-

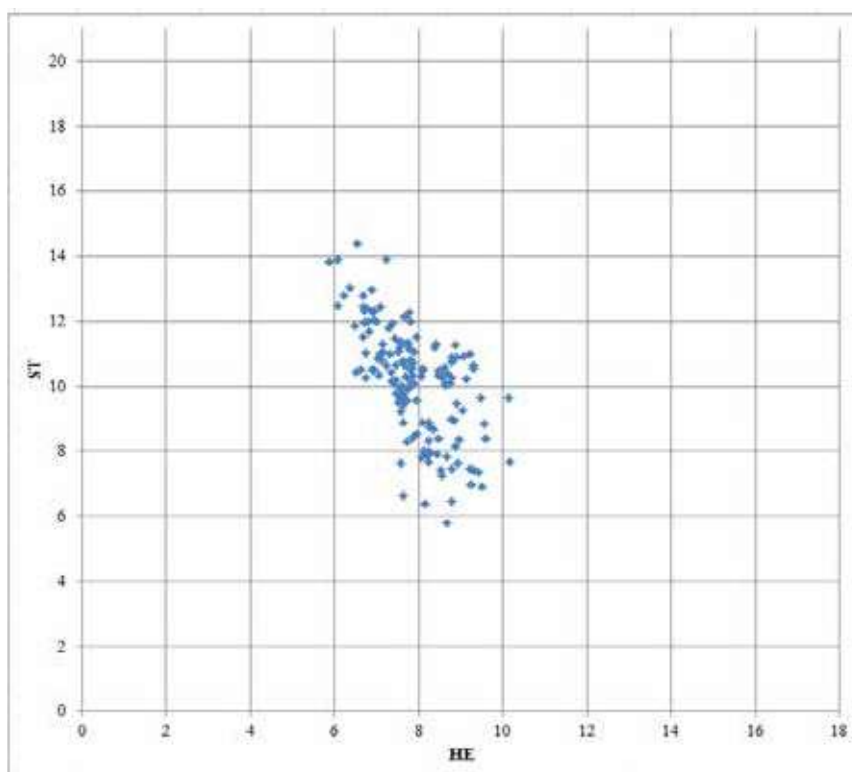


Рис. 4. Взаємозв'язок між показником антропогенної трансформації та показником природної динаміки

трами угруповань. Теперішнє розділення її на варіанти як традиційний поділ за домінантами не виглядає досить переконливим, якщо ми піднімаємося із рівня фітоценозу до рівня екосистеми (Janyszek, 2003). Логічно виглядає ідея виокремлення із неї класичної асоціації *Salicetum capreae* (молоді дрібнолистяні дерево-чагарникові угруповання та березові ліси), асоціації *Agrostio-Populetum tremulae* (осикові ліси) та нової асоціації лесових папоротевих схилів на основі варіанту *Salicetum capreae* var *Cystopteridetum fragilis* (Mlynkowiak & Kutyna, 2009). Положення цих екосистем в едафо-динамічній моделі досить відмінне з перспективи подальшого сукцесійного розвитку. Інвазійні види більш за все трансформуватимуть екосистеми в стан катастрофічного клімаксу. Аборигенні види на рівних ділянках помірно багатих ґрунтів вестимуть екосистему до енергетичного клімаксу найкоротшим шляхом (Harbar et al., 2021).

Висновки

Фітоценотичне різноманіття класу *Robinieta* включає в себе 2 порядки, 5 союзів 8 асоціацій.

Похідні ліси класу *Robinieta* займають екотопи стенотопні за усіма едафічними

факторами, крім кількості доступного нітрогену, і євритопні за антропогенною трансформацією та показником природної динаміки.

Рівень антропогенної трансформації похідних лісів класу *Robinieta* коливається від 10,17 до 5,87 бала при середньому значенні 7,88 бала, що за класифікацією Блюме – Сукопа відповідає проміжку між олігомеробією, де перебувають екосистеми, сформовані під мінімальним антропогенним тиском і еугемеробією, де розташовані напівприродні або сильно синантропізовані природні екосистеми. Більшість похідних лісів класу *Robinieta* перебуває в зоні мезогемеробії, характерної для природних екосистем із помітною присутністю антропогенного впливу.

Між показниками антропогенної трансформації та загальним сольовим режимом спостерігається пряmlinійна залежність із коефіцієнтом кореляції 0,77; вмістом доступного нітрогену – пряmlinійна залежність із коефіцієнтом кореляції 0,57; багаторічним режимом зволоження – обернено лінійна із коефіцієнтом кореляції 0,53.

Антропогенна діяльність часто спрямована проти векторів автогенної сукцесії,

яка супроводжує відновлення природної рослинності. Між показниками антропогенної трансформації та природної динаміки спостерігається обернено лінійна залежність із коефіцієнтом кореляції 0,64.

Положення екосистем із рослинністю *Robinieta* в едафо-динамічній моделі від-

різняється перспективами подальшого сукцесійного розвитку. Інвазійні види-едифікатори трансформуватимуть екосистеми до стану катастрофічного клімаксу. Аборигенні види на рівних ділянках помірно багатих ґрунтів вестимуть екосистему до енергетичного клімаксу найкоротшим шляхом.

Список використаної літератури

Гарбар О.В., Весельська Е.В., Хом'як І.В., Гарбар Д.А. Просторово-часові зміни структури земельного покриву Словечансько-Овруцького кряжу. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 7. С. 197–209. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.7.2024.22>.

Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів. Київ : Наукова думка, 1994. 280 с.

Дубина Д.В. Продромус рослинності України. Київ : Наукова думка, 2019. 784 с.

Хом'як І.В. Аналіз теорій поліклімаксу та моноклімаксу із позиції сучасної теорії динаміки екосистем. *Екологічні науки*. 2024. № 1 (52). С. 179–183. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.2.33>.

Хом'як І.В. Характеристика асоціацій *Agrostio-Populetum tremulae* та *Epilobio-Salicetum carpeae* класу *Epilobietea angustifolii* для Правобережного Полісся. *Український ботанічний журнал*. 2016. № 4. С. 239–254. <http://dx.doi.org/10.15407/ukrbotj73.03.239>.

Хом'як І.В., Овдіюк О.М. Контрольоване самовідновлення рослинності як альтернатива лісової рекультиватії. *Екологічні науки*. 2024. № 4 (55). С. 229–233. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.4-55.37>.

Якубенко Б.Є., Попович С.Ю., Устименко П.М., Дубина Д.В., Чурілов А.М. Геоботаніка: методичні аспекти досліджень. Ліра, 2020, 316 с.

Harbar O., Khomiak I., Kotsiuba I., Demchuk N., Onyshchuk I. Anthropogenic and natural dynamics of landscape ecosystems of the Slovechansko-Ovruchsky ridge (Ukraine). *Soc. ekol.* 2021. № 3. P. 347–367. <https://doi.org/10.17234/SocEkol.30.3.1>.

Hennekens S. Turboveg for Windows. 1998–2007. Version 2. Wageningen: Inst. voor Bos en Natuur, 2009. 84 p.

Janyszek S. Fitocenozy *Agrostio-Populetum tremulae* Pass. in Pass. et Hoffman 1968 puszczy bukowej kolo Szczecina. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu*. Poznań: Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu. 2003. P. 51–57.

Khomiak I., Harbar O., Demchuk N., Kotsiuba I., Onyshchuk I. Above-ground phytomas dynamics in autogenic succession of an ecosystem. *Forestry ideas*. 2019. № 1. P. 136–146.

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. № 5. P. 61–69. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.5.2023.7>.

Khomiak I., Harbar O., Kostyuk V., Demchuk N., Vasylenko O. Synphytoindication models of the anthropogenic transformation of ecosystems. *Natura Croatica: Periodicum Musei Historiae Naturalis Croatici*. 2024. № 33 (1). P. 65–77. <https://doi.org/10.20302/NC.2024.1.5>.

Matuszkiewicz W. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roslinnych Polski. Warszawa : PWN. 2001. 536 p.

Młynkowiak E., Kutyna I. Zbirowisko z *Betula pendula* i *Populus tremula* w zadrzewieniach śryd-polnych Zachoniej Części pojezierza drawskiego. *Folia Pomeranae univesitatis technologiae stetinen-sis*. 2009. № 271 (10). P. 113–126.

Westhoff V., Maarel E. van der. The Braun-Blanquet approach. Handbook of Vegetation Science. Part V: Ordination and Classification of Vegetation. Ed. By R.H.Whittaker. The Hague, 1973. P. 619–726.

References

Harbar, O.V., Veselska, E.V., Khomiak, I.V., & Harbar, D.A. (2024). Prostorovo-chasovi zminy struktury zemelnogo pokryvu Slovechansko-Ovrutskoho kriazhu [Spatiotemporal changes in the land cover structure of the Slovechansko-Ovrutskyi ridge]. *Ukrayinskyi zhurnal pryrodnych nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 7, 197–209 [in Ukrainian].

- Didukh, Ya.P., & Pliuta, P.H. (1994). Fitoindykatsiia ekolohichnykh faktoriv [Phytoindication of environmental factors]. Kyiv : Naukova dumka [in Ukrainian].
- Dubyna, D.V. (2019). Prodromus roslynnosti Ukrainy [Prodromus vegetation of Ukraine]. Kyiv : Naukova dumka [in Ukrainian].
- Khomiak, I.V. (2024). Analiz teorii poliklimaksu ta monoklimaksu iz pozytsii suchasnoi teorii dynamiky ekosystem [Analysis of the theories of polyclimax and monoclimax from the perspective of the modern theory of ecosystem dynamics]. *Ekolohichni nauky [Ecological science]*, 1 (52), 179–183 [in Ukrainian].
- Khomiak, I.V. (2016). Kharakterystyka asotsiatsii Agrostio-Populetum tremulae ta Epilobio-Salicetum capreae klasu Epilobietea angustifoliae dlia Pravoberezhnoho Polissia [Characteristics of the Agrostio-Populetum tremulae and Epilobio-Salicetum capreae associations of the Epilobietea angustifoliae class for Right-Bank Polissya]. *Ukrayinskyi botanichnyi zhurnal [Ukrainian Botanical Journal]*, 4, 239–254 [in Ukrainian].
- Khomiak, I.V., & Ovdiiuk, O.M. (2024). Kontrolovane samovidnovlennia roslynnosti yak alternatyva lisovoi rekultyvatsii [Controlled self-regeneration of vegetation as an alternative to forest reclamation]. *Ekolohichni nauky [Ecological science]*, 4 (55), 229–233 [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].
- Harbar, O., Khomiak, I., Kotsiuba, I., Demchuk, N., & Onyshchuk, I. (2021). Anthropogenic and natural dynamics of landscape ecosystems of the Slovechansko-Ovruchsky ridge (Ukraine). *Soc. Ecol.*, 3, 347–367 [in English].
- Khomiak, I., Harbar, O., Demchuk, N., Kotsiuba, I., & Onyshchuk, I. (2019). Above-ground phyto-mas dynamics in autogenic succession of an ecosystem. *Forestry ideas*, 1, 136–146 [in English].
- Hennekens, S. (2009). Turboveg for Windows. 1998–2007. Version 2. Wageningen : Inst. voor Bos en Natuur [in English].
- Janyszek, S. (2003). Fitocenozy Agrostio-Populetum tremulae Pass. in Pass. et Hoffman 1968 puszczy bukowej kolo Szczecina. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu*. Poznań : Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, 51–57 [in Polish].
- 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].
- Khomiak, I., Harbar, O., Kostiuik, V., Demchuk, N., & Vasylenko, O. (2024). Synphytoindication models of the anthropogenic transformation of ecosystems. *Natura Croatica: Periodicum Musei Historiae Naturalis Croatici*, 33 (1), 65–77 [in English].
- Matuszkiewicz, W. (2001). Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roslinnych Polski. Warszawa : PWN [in Polish].
- Młynkowiak, E., & Kutyna, I. (2009). Zbirowisko z Betula pendula i Populus tremula w zadrzewieniach śrydpolnych Zachoniej Części pojezierza drawskiego. *Folia Pomeranae univesitatis technologiae stetinensis*, 271 (10), 113–126 [in Polish].
- Westhoff, V., & Maarel, E. van der. (1973). The Braun-Blanquet approach. Handbook of Vegetation Science. Part V: Ordination and Classification of Vegetation. Ed. By R.H. Whittaker. The Hague [in English].

Отримано: 22.01.2025
Прийнято: 06.02.2025



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 11
Український журнал природничих наук
№ 11

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

УДК 556.06+551.49+711.1+911.3

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.34>

МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ГІДРОМОРФОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ АНТРОПОГЕННОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ РІЧКОВОГО ЛАНДШАФТУ (НА ПРИКЛАДАХ Р. ЧЕРЕМОШ)

Ю. С. Ющенко¹, М. Д. Заячук², М. Д. Пасічник³, О. В. Паланичко⁴, А. А. Мельник⁵

Інтегроване управління водними ресурсами, зокрема річками та їхніми басейнами, все більше орієнтується на такі об'єкти, як річкові екосистеми, ландшафти, геосистеми. Найбільш актуальною науково-прикладною проблемою є інтеграція басейнового та ландшафтного планування. На основі русел та заплав річок формуються певні ландшафтні комплекси. Це молодий річковий ландшафт (МРЛ). В основі його функціонування лежать гідроморфологічні процеси. Отже, для характеристики стану МРЛ та відповідних річкових екосистем важливо звертати увагу на гідроморфологічні параметри та показники. Для цього необхідно вдосконалювати методи гідроморфологічного аналізу, досліджень річкових ландшафтів. Накопичення знань про них відбувається на прикладах конкретних об'єктів і регіонів. Об'єктом нашого дослідження вибрано передгірну

¹ доктор географічних наук, професор,
професор кафедри географії України та регіоналістики
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: y.yushchenko@chnu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-5616-8089

² доктор географічних наук, доцент,
декан географічного факультету
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: m.zayachuk@chnu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-3236-7184

³ кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри географії України та регіоналістики
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: m.pasichnyk@chnu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-9378-6302

⁴ кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри географії України та регіоналістики
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: o.palanychko@chnu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-4407-4218

⁵ кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри геодезії, картографії та управління територіями
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: a.melnik@chnu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-1840-974X

ділянку долини, русла і заплави р. Черемош, правого допливу р. Прут. Її система потік–русло–заплава має як індивідуальні, так і характерні для регіону Передкарпаття риси. Водночас вона не охоплена повноцінними гідрологічними спостереженнями і слабо досліджена у руслознавчому, гідроморфологічному, ландшафтознавчому відношеннях. Метою цього дослідження є виявлення і характеристика територіальної структури та гідроморфологічних закономірностей функціонування молодого ландшафту р. Черемош на передгірній ділянці течії у природних та антропогенно змінених умовах для розвитку основ інтегрованого управління ним. Виконано аналіз територіальної структури ландшафтів долини р. Черемош з використанням запропонованої нами методики послідовного, ієрархічно підлеглого виділення однорідних ділянок долини (ОДД), однорідних ділянок її днища (ОДд) та однорідних ділянок русла та заплави (ОДРЗ). Виділено п'ять однорідних ділянок русла і заплави: Тюдівсько-Вижницьку, Вижницько-Мілієвську, Мілієвсько-Банилівську, Банилівсько-Вашиківську, Вашиківсько-Неполоківську (давньогирлову). Визначено основні їх параметри. Детально розглянуто методичні питання аналізу будови та функціонування системи потік–русло–заплава на виділених однорідних ділянках у природних та антропогенно змінених умовах. Зокрема, апробовано методику виявлення параметрів антропогенного врізання річок із застосуванням GNSS-зйомки. Виявлено, що до основних чинників антропогенних змін гідроморфології молодого ландшафту р. Черемош на досліджуваній ділянці течії належать відбір руслового алювію і побудова дамб обвалування. Показано, як ці чинники вплинули і впливають на зміни будови, структури і функціонування молодого річкового ландшафту, а також до яких наслідків це призводить. За результатами цього дослідження поповнено базу гідроморфологічної інформації, яка стосується системи р. Прут у межах України. Запропоновано рекомендації щодо оптимізації управління гідроморфологічною якістю молодого ландшафту р. Черемош.

Ключові слова: геоecologia, гідроморфологічний аналіз, гідроеcologia річок, управління водами, ландшафтно-басейнове планування, молодий річковий ландшафт, природний і антропогенно змінений стан, гідроморфологічна якість ландшафту, система потік–русло–заплава, ГІС-технології, річка Черемош.

METHODOLOGICAL ASPECTS OF HYDROMORPHOLOGICAL ANALYSIS OF ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF RIVER LANDSCAPES (CASE STUDY OF THE CHEREMOSH RIVER)

**Yu. S. Yushchenko, M. D. Zaiachuk, M. D. Pasichnyk, O. V. Palanychko,
A. A. Melnyk**

Integrated water resources management, particularly concerning rivers and their basins, is increasingly focused on entities such as river ecosystems, landscapes, and geosystems. The most pressing scientific and applied issue is the integration of basin and landscape planning. Specific landscape complexes are formed based on river channels and floodplains, representing the young river landscape (YRL), whose functioning is primarily driven by hydromorphological processes. Therefore, to assess the state of the YRL and corresponding river ecosystems, it is crucial to pay attention to hydromorphological parameters and indicators. This necessitates improving methods of hydromorphological analysis and the study of river landscapes. The accumulation of knowledge in this field is based on examples of specific objects and regions. The object of our research is the foothill section of the valley, channel, and floodplain of the Cheremosh River, a right tributary of the Prut River. Its stream-channel-floodplain system exhibits both individual and regionally characteristic features for the Pre-Carpathian area. At the same time, it is not fully covered by hydrological observations and remains underexplored in terms of channel studies, hydromorphology, and landscape research.

The purpose of this study is to identify and characterize the territorial structure and hydromorphological patterns of the functioning of the young landscape of the Cheremosh River within its foothill section under natural and anthropogenically modified conditions, aiming to develop the foundations of integrated management. An analysis of the territorial structure of the Cheremosh River valley landscapes was performed using the proposed methodology of sequential, hierarchically subordinate delineation of homogeneous area of the valley (HAV), homogeneous area of the valley bottom (HAVB), and homogeneous area of the riverbed and floodplain (HARF). Five homogeneous channel and floodplain areas were identified: Tyudiv-Vyzhnytsia, Vyzhnytsia-Milievo, Milievo-Banyliv, Banyliv-Vashkiivtsi, and Vashkiivtsi-Nepolokiivtsi (former mouth area). Their main parameters were determined. Methodological issues of analyzing the structure and functioning of the stream-channel-floodplain system in these homogeneous areas under natural and anthropogenically modified conditions were examined in detail.

In particular, a methodology for determining parameters of anthropogenic river incision using GNSS surveying was tested. It was revealed that the main factors of anthropogenic changes in the hydromorphology of the young landscape of the Cheremosh River in the studied section include riverbed alluvium extraction and the construction of embankment dams. The influence of these factors on the structure, composition, and functioning of the young river landscape, as well as the consequences they lead to, were demonstrated. As a result of this study, the hydromorphological information database regarding the Prut River system within Ukraine has been expanded. Recommendations for optimizing the management of the hydromorphological quality of the young landscape of the Cheremosh River were proposed.

Key words: *geoecology, hydromorphological analysis, hydroecology of rivers, water management, landscape-basin planning, young river landscape, natural and anthropogenically modified state, hydromorphological quality of the landscape, stream-channel-floodplain system, GIS technologies, River Cheremosh.*

Вступ

Інтегроване управління водними ресурсами, зокрема річками та їхніми басейнами, все більше орієнтується на такі об'єкти, як річкові екосистеми, ландшафти, геосистеми. Для цього необхідно розвивати методику їх дослідження, знання про ці об'єкти, їхній природний та антропогенно змінений стан; аналізувати актуальні питання управління ними. На основі русел та заплав річок формуються певні ландшафтні комплекси. Це молодий річковий ландшафт (МРЛ). В основі його функціонування лежать гідроморфологічні процеси. Отже, для характеристики стану МРЛ та відповідних річкових екосистем важливо звертати увагу на гідроморфологічні параметри та показники. Для цього необхідно вдосконалювати методи гідроморфологічного аналізу, досліджень річкових ландшафтів. Накопичення знань про них відбувається на прикладах конкретних об'єктів і регіонів. Інтеграція планування, управління означає синтез різних їх видів у єдину систему. Найбільш актуальною науково-прикладною проблемою є інтеграція басейнового та ландшафтного планування, управління водами та земельними ресурсами. У напрямі вирішення такої проблеми нами запропоновано низку методологічних і методичних рішень (Ющенко, 2005, 2018, 2019a, 2019b; Паланичко, 2010; Ющенко та ін., 2012a, 2012b, 2022; Ющенко та ін., 2017), які послідовно апробуються та розвиваються. Зокрема, запропоновано виділяти і вивчати молоді річкові ландшафти (МРЛ), які сформовані на основі русел та заплав річок і активно використовуються людиною. Передбачається поступове охоплення басейнів річок Сірет та Прут у межах України. Важливим видом об'єктів є передгірні ділянки течії річок, вздовж яких відбувається закономірна зміна про-

цесів руслоформування, функціонування системи потік– русло–заплава (СПРЗ), і які є важливими у питаннях організації взаємодії людини та річки. Об'єктом нашого дослідження вибрано передгірну ділянку долини, русла і заплави р. Черемош, правого допливу р. Прут, суббасейн якого належить до басейну р. Дунай (рис. 1). Її СПРЗ має як індивідуальні, так і характерні для регіону Передкарпаття риси. Водночас вона не охоплена повноцінними гідрологічними спостереженнями і слабо досліджена у руслознавчому, гідроморфологічному, ландшафтознавчому відношеннях.

Таким чином, актуальність цього дослідження пов'язана як з необхідністю розвитку методики вивчення антропогенних змін гідроморфології річкового ландшафту, так і з можливостями використання отриманих результатів у розвитку планування управління його якістю.

Гідрологічна наука розглядає річки як складні саморегульовані системи. Зокрема, це стосується систем потік–русло (СПР) або потік–русло–заплава (СПРЗ). З їхнім функціонуванням пов'язаний гідроморфогенез русел та заплав. Таким чином, утворюються особливі річкові ландшафти, які є генетично гідроморфологічними. Відповідно, формуються й особливі річкові екосистеми. У статті 1 Водної Рамкової Директиви ЄС зазначено, що «метою цієї Директиви є встановлення засад щодо охорони поверхневих вод суші, перехідних вод, прибережних та підземних вод, які: (а) запобігають подальшому погіршенню, захищають і покращують стан водних екосистем та, відповідно до їхніх водних потреб, також наземних екосистем та водно-болотних угідь, які безпосередньо залежать від водних екосистем» (Директива 2000/60/ЄС, 2000). Перехід від абстраго-

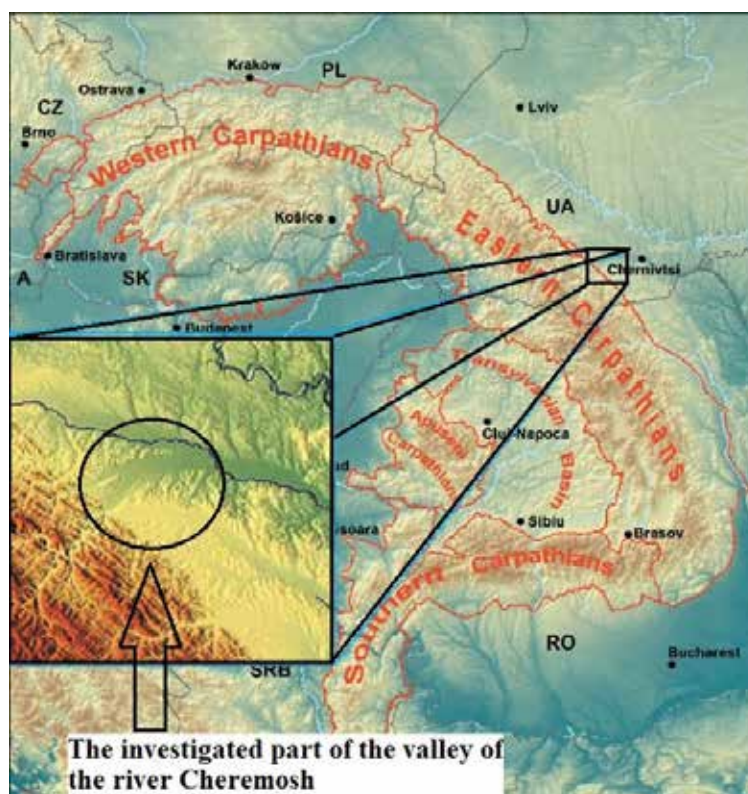


Рис. 1. Схематичне зображення розташування об'єкта дослідження:
долина р. Черемош

вано-кількісного сприйняття природних ресурсів до планування управління геосистемами, екосистемами є сутнісно важливим для вирішення проблем взаємодії суспільства і природи, сталого розвитку.

Різноманіття досліджень річкових екосистем, ландшафтів дуже велике. У зв'язку з темою нашого дослідження звернемо увагу переважно на гідроморфологічні та ландшафтознавчі наукові праці. Ландшафтно-екологічний підхід поступово формується в напрямі інтегрованого управління водними ресурсами. Зокрема, розглядаються питання інтегрованого менеджменту річкових ландшафтів (Verbrugge et al., 2019; Rossi Francesca, 2022), інтегрованого управління землями і водами (Посібник з Карпатської конвенції, 2007). Також розглядається питання інтеграції ландшафтного та басейнового планування. Зокрема, у Німеччині важливим принципом і положенням є те, що «виходячи з екологічних нормативів Європейського Союзу, важливо узгоджувати документи ландшафтного планування та правові норми, що діють у межах ЄС, та забезпечувати ефективну взаємодію різних інструментів. Так, Водна Рамкова Директива передбачає комплексний еко-

логічний підхід. Ландшафтне планування в цьому контексті дає змогу сформулювати конкретні, прив'язані до певної території, вимоги та заходи щодо поліпшення екологічного стану проточних водойм і заплав, ґрунтових вод» (Директива 2001/42/ЄС, 2001; Руденко, 2014). Гідроморфологічні аспекти управління річками тепер є невід'ємною складовою частиною планів управління річковими басейнами (ПУРБ). Відповідні наукові дослідження були здійснені під керівництвом О.Г. Ободовського (Ободовський і Ярошевич, 2006; Ободовський та ін., 2012; Ободовський, 2017). Гідроекологічні дослідження річок виконувались під керівництвом І.П. Ковальчука (Ковальчук та Павловська, 2008; Ковальчук та ін., 2016; Ковальчук і Ковальчук, 2018; Ковальчук та ін., 2023). В обох цих напрямках приділено увагу геосистемному підходу.

Власне, ландшафтознавчі дослідження річок в Україні виконуються представниками наукової школи Г.І. Денисика (Денисик, 2012; Денисик і Лаврик, 2012; Lavryk et al., 2022). Значну увагу приділено процесам антропогенного перетворення річкових ландшафтів, їх сучасному стану, ландшафтно-технічним системам.

Дослідженням річкових ландшафтів присвячено також праці в рамках таких загальних тем, як ландшафти річкових долин і річкові екологічні коридори (Річкові ..., 2007; Doliny ..., 2007).

Наш внесок у дослідження річкових ландшафтів базується на вивченні їх гідроморфологічної генетичної однорідності, на моделі річкових басейнових систем (РБС) «крона – стовбури» (Ющенко та ін., 2012а; 2017), а також на дослідженнях русел і заплав річок, функціонування СПРЗ регіону Передкарпаття (Ющенко, 2005; Паланичко, 2010). Методологічне обґрунтування такої моделі пов'язане з відповідними гідрологічними, геоморфологічними працями. У ландшафтознавчому відношенні модель пов'язана з концепцією М.Д. Гродзинського про басейнову конфігурацію ландшафтів (Гродзинський, 2005), в якій, зокрема, враховується поділ ландшафтів на два ієрархічних рівні: хоричний та регіональний. Власне для стовбурної частини РБС, регіонального рівня будови нами розроблено методику ідентифікації територіальної структури річково-долинних ландшафтів (Ющенко та ін., 2012b), яка спирається на положення Г.І. Швєбса та М.Д. Гродзинського (Гродзинський, 2005), про парагенетичну ієрархію річково-долинних ландшафтів, а також на відомі у дослідженнях руслового процесу положення про морфологічно однорідні ділянки, заплавно-руслові комплекси.

Це дослідження також спирається на вивченість русел, заплав, річкових ландшафтів регіону Передкарпаття і р. Черемош зокрема. У геоморфологічному відношенні русла, заплави і тераси річок описані у працях К. Братеску (Bratescu, 1928), П.М. Цися (Цись, 1968), Я.С. Кравчука (Кравчук, 1999) та інших дослідників. Ці дані використані нами як базові для аналізу природної територіальної структури об'єкта дослідження. Важлива інформація про особливості будови та вік заплав міститься у палеогеографічних дослідженнях. Зокрема, вона вказує на етапність формування, вплив поступових (за сотні і тисячі років), спрямованих зміщень русла та водночас на велику стійкість типу руслового процесу у природних умовах.

Важлива інформація стосовно руслового процесу річок Передкарпаття та методів його вивчення міститься також у регіональних руслознавчих дослідженнях (Hnativ et al., 2022). Вона опосередковано врахо-

вана нами в аналізі функціонування СПРЗ р. Черемош. Важливим аспектом багатьох сучасних публікацій є застосування комп'ютерних і ГІС-технологій, формування баз даних.

Метою цього дослідження є апробація методів гідроморфологічного аналізу для виявлення і характеристики територіальної структури, закономірностей будови і функціонування молодого ландшафту р. Черемош на передгірній ділянці течії у природних та антропогенно змінених умовах і для розвитку основ інтегрованого управління ним.

Для досягнення поставленої мети нами вирішувались такі завдання:

- 1) виявлення територіальної структури об'єкта дослідження у природних умовах;
- 2) характеристика закономірностей будови та функціонування СПРЗ у природних умовах;
- 3) аналіз впливу антропогенних чинників на гідроморфологічні характеристики і територіальну структуру молодого річкового ландшафту;
- 4) висновок про можливості використання результатів дослідження у плануванні управління функціонуванням р. Черемош та її молодого ландшафту.

Матеріал і методи

Згідно з поставленою метою та завданнями для виконання дослідження було використано такі види інформації: карти місцевості; дані дистанційного зондування Землі; наукові публікації з геоморфологічної та фізико-географічної тематики, що стосуються річкових долин Передкарпаття, включаючи картосхеми та інші ілюстрації; дані власних експедиційних досліджень, що проводились протягом 1988–2022 років; дані гідрологічних спостережень на постах р. Черемош – с. Устеріки та р. Черемош – с. Кути; дані, що розміщені на сайтах Басейнового управління водних ресурсів річок Прут та Сірет і Державного агентства водних ресурсів України; документи нормативного характеру, що стосуються управління річками, річковими басейнами.

Розвиток гідроморфологічного аналізу МРА пов'язаний із застосуванням важливих методологічних основ, об'єктивним аналізом сучасних проблем управління річками, а також із невпинним розвитком технологій та засобів досліджень.

У методологічному відношенні дослідження базується на врахуванні принципу геосистемного, ландшафтного підходу,

а також принципу вивчення еволюції стану об'єкта від природних до антропогенно змінених умов. Відповідно побудовані завдання і структура дослідження.

Аналіз територіальної структури ландшафтів долини р. Черемош базувався на запропонованій нами методиці (Ющенко та ін., 2012b; 2017) послідовного, ієрархічно підлеглого виділення однорідних ділянок долини (ОДД), однорідних ділянок її днища (ОДд) та однорідних ділянок русла та заплави (ОДРЗ). Одиниці вищого рангу виділяються із врахуванням характерних основних змін характеру долин вздовж течії річок і фіксуються орієнтовними контурами. Більшість таких ділянок відома і описана в геоморфологічних та фізико-географічних наукових публікаціях. Головними орієнтирами виступають значні зміни ширин, поперечного профіля, напрямку, асиметрії та інші. Також однорідні ділянки долин річок корелюють із геоморфологічними та фізико-географічними районами / підрайонами (Цись, 1968; Кравчук, 1999; Маринич і Шищенко, 2006; Національний ..., 2007). Однорідні ділянки днища долини виділяються контурами в межах ОДД. Контури складаються з бічних меж та рубежів. Днище долини включає русло, заплаву і молоді тераси (першу та другу). Його також називають сучасною долиною. Для долин Передкарпаття відносні висоти третьої надзапавної тераси становлять 15–25 м (Цись, 1968; Кравчук, 1999). Отже, положення бічних меж ОДД можна визначати як за чітко вираженими уступами, так і орієнтовно за відносними висотами у проміжках між ними. Рубежі ОДД проводяться на основі детального аналізу рельєфу та гідрографічної мережі днища долини і враховують значні їх зміни вздовж течії річки. Характерними показниками виступають розташування і параметри низьких терас, розташування русла і заплави в їх межах та інші. Для порівняння наведемо характеристику парагенетичного ландшафтного сектору, наведену у праці М.Д. Гродзинського (Гродзинський, 2005): «Це ділянка долини, однотипна за структурою та динамікою насамперед терас і схилів. Провідними ознаками його виділення є характеристики схилових і терасових ландшафтних смуг». Різниця полягає тільки у тому, що ми розглядаємо власне низькі тераси у комплексі зі смугою русла та заплави. В межах ОДД фіксуються ОДРЗ. Їхні бічні межі пов'язані з переходом від заплави до першої надзапавної тераси. За

даними Я.С. Кравчука та інших авторів відносні висоти першої надзапавної тераси у долинах річок Передкарпаття становлять переважно 3–5 м. Межа із високою заплавою у природних умовах не завжди була чітко вираженою. Ділянки першої тераси могли затоплюватися під час проходження видатних паводків. І сама заплава має складну будову. Найбільш обґрунтовано можна аналізувати і виділяти заплаву через проведення палеодосліджень. Однак вони вкрай обмежені. Тому фіксація бічних меж ОДРЗ проводиться із врахуванням відносних висот на основі руслознавчого аналізу рельєфу і гідромережі місцевості. Також можна враховувати розташування поселень, показане на старих картах, як індикатор особливостей місцевого ландшафту. Додатково використовуються досить детальні поперечні перерізи та геологічні розрізи. У питанні виділення рубежів ОДРЗ на перший план виступає власне аналіз руслового процесу, особливо чинника місцевих обмежень (бічних та глибинних). Тут доречно навести характеристику парагенетичних ланок річкового ландшафту за М.Д. Гродзинським (Гродзинський, 2005). Це «сукупність суміжних генетично близьких місць у запавно-русовій частині долини річки...». Генетична близькість – це і є прояв однорідного руслово-запавного процесу. У разі виділення рубежів ОДРЗ важливими ознаками є характеристики заплави та русла, їхні морфометричні параметри, особливості затоплення, інтенсивність відкладення наносів, тип руслового процесу, сучасна рослинність. Рослинність виступає індикатором розповсюдження і характеру заплави. Також у руслознавчому відношенні важливим індикатором виступає так звана багаторічна смуга руслоформування (БСР). Під нею перш за все розуміють контур відображення положень русла за картографічний період. Також застосовують методи відновлення інформації про положення русла на основі аеро- та космознімків. Важливою є інформація палеоруслознавчих досліджень. Загалом це контур імовірного положення русла за періоди у сотні, деколи тисячі років. Контури, параметри БСР дають змогу додатково обґрунтовувати фіксацію ОДРЗ.

Фіксація територіальної структури ландшафтів річкових долин характеризується певною точністю, яка залежить від конкретних умов, інформації. Водночас вимоги до точності (допустимих похибок) залежить

від характеру дослідницьких та прикладних задач. Інформація може уточнюватися у разі послідовної деталізації дослідження. Нами розроблено і застосовано відповідну методику більш точної прив'язки картографічних відображень та відповідного аналізу станів молодого річкового ландшафту. Дані про контури ОДд, ОДРЗ, БРС вводяться в геоінформаційну систему і є частиною бази даних про річкові басейнові системи та МРА.

Аналіз будови та функціонування СПРЗ у природних умовах виконується із використанням відповідної картографічної, гідрологічної інформації, опублікованих, архівних даних, даних експедиційних досліджень. Головною складовою частиною виступає руслознавчий (гідроморфологічний) аналіз руслового процесу. Він ґрунтується не тільки на інформації про об'єкт дослідження, але і на використанні знань про загальні і регіональні закономірності будови та розвитку річкових русел.

Важливо правильно виділяти масиви інформації, яка стосується природних (референційних) та антропогенно змінених умов. Такий поділ може бути складним та відносним, що залежить від реальної історії взаємодії людини із системою потік–русло–заплава на досліджуваній ділянці. Вивчення цієї історії – важливе завдання дослідження. Сучасна інформація про русло і заплаву (СПРЗ) може бути застосована і до опису природних умов через відповідну інтерпретацію та трансформацію.

Аналіз впливу антропогенних чинників на характеристики і структуру СПРЗ, МРА базується на використанні опублікованих даних, даних про берегозахисні роботи, протипаводковий захист, видобуток алювію, а також на картографічній інформації, даних ДЗЗ, даних експедиційних досліджень. У цій роботі використано методи обробки даних гідрологічних спостережень. Також було сформовано і застосовано методику експедиційних досліджень, що включали фіксацію поперечних перерізів, рівнів високих вод, руслознавчий опис і фотофіксацію ділянок обстеження, фіксацію і аналіз складу руслоформуючих наносів, опис інженерних споруд, GNSS-зйомки. Відповідні дані введені в базу. Виявлені значні антропогенні зміни структури русла, його планових форм дозволили зафіксувати антропогенну БСР, а також зміни ОДРЗ. Зміни руслового процесу пов'язані значною мірою з антропогенним врізанням річки (АВР). Тому нова

БСР розвивається на понижених висотних рівнях та у нових корінних берегах. АВР значно впливає також на нові умови функціонування заплави, СПРЗ. Моніторинг АВР здійснюється на основі даних GNSS-зйомок, фіксації стану інженерних споруд, даних гідрологічних спостережень. Сутність використання методики GNSS-зйомок полягає у порівнянні абсолютних відміток меженних урізів води на старих картах та у сучасних умовах у відповідних точках. Основні види похибок виникають: через неточності визначення координат, через планові зміщення русла, через неточності визначення висотного положення під час GNSS-зйомок, через неточності визначення висотного положення на старих картах, через коливання меженних рівнів води. Критичними є два останні види похибок. Точність визначення висот на картах залежить від їхнього масштабу і точності побудови частин поздовжнього профілю річки. На топокартах М 1:25 000 висоти урізів води підписані з точністю до 0,1 м. Урізи вказано для меженного потоку, що видно з аналізу відображень русла та руслових форм. Найбільш імовірно це період літньо-осінньої межені. Загальні похибки визначення висот за поздовжніми профілями не набагато їх перевищують і можуть бути оцінені до 0,15 м. Похибки пов'язані з коливаннями меженних рівнів, оцінюються через відхилення від лінії осереднення на хронологічних графіках за даними близько розташованих пунктів гідрологічних спостережень. Для об'єкта дослідження нами вони оцінені також у 0,1–0,15 м. Якщо розглядати практично значимі ризики в умовах АВР амплітудою понад 0,5 м, відносні похибки будуть становити 30–10% та менше. Це дозволяє обґрунтовано робити висновки про значущість впливу АВР на стан річкового ландшафту.

Для характеристики природного стану молодого річкового ландшафту, СПРЗ р. Черемош нами проаналізовано історію дії основних відповідних чинників антропогенного впливу. Орієнтовна межа періоду природних (референційних) та антропогенно змінених умов функціонування СПРЗ Черемошу належить до 60–70-х років ХХ століття. До цього періоду впливи людини були недостатніми для того, щоби значно змінити процеси розвитку русла та заплави річки.

До основних чинників антропогенного навантаження на гідроморфологічну основу МРА належить інженерний вплив і видобуток річкового алювію. Основними видами

інженерного впливу є берегозахист, протипаводкові дамби та мостові переходи. Дія названих чинників має кумулятивний ефект і поступово призвела до врізання річок, звуження багаторічної смуги руслоформування, зміни руслового та заплавного процесу, зміни просторового устрою річкового ландшафту. Таким чином, гідроморфологічні процеси можуть значно впливати на стан і функціонування МРА загалом, а також негативно впливати на інженерні споруди та ризики гідроекологічного характеру зокрема.

У період Радянського Союзу (60–80-ті роки) почали застосовувати нові системи берегозахисту. Після паводку 1969 року також була збудована і введена в експлуатацію потужна система дамб обвалування, значна частина якої функціонує донині.

Наступним чи не найпотужнішим напрямом, видом антропогенного впливу на русло та заплаву р. Черемош (поряд із берегозахистом, регулюванням та системою інших інженерних споруд) став відбір річкового алювію. Перші такі впливи існували ще у XIX столітті. Але значної потужності цей вид діяльності набрав у період від 60-х років XX століття. Почали функціонувати руслові кар'єри, для яких офіційно, згідно з державними нормами, було визначено експлуатаційні запаси алювію («суміші»). Запасами вважалося все доступне алювіальне сере-

довище МРА. Найбільші кар'єри працювали у с. Неполоківці (у вузлі злиття Пруту і Черемошу) та у с. Іспас (на р. Черемош). Окрім цих найбільш потужних проявів антропогенного тиску, завжди існували розсіяні, дрібніші. Нині вони значною мірою пов'язані з так званими «руслорегулюючими роботами».

Як уже було зазначено в описі методики дослідження, виділення масивів інформації, релевантної для опису природних (референційних) та антропогенно змінених станів об'єкта, може бути складним і відносним. Відносність полягає, зокрема, і в ієрархічності впливів. В один період часу впливи можуть стосуватися окремих елементів русел та заплав і слабо змінювати цілі ділянки. Врахування цієї обставини дозволяє приймати для розгляду ту чи іншу інформацію.

Результати та їх обговорення

Спільний аналіз будови долини, фізико-географічного та геоморфологічного районування території такої частини Передкарпаття (Цись, 1968; Кравчук, 1999; Маринич і Шищенко, 2006; Національний ..., 2007) дозволив виділити ОДД та ОДд (рис. 2) р. Черемош на досліджуваній ділянці течії у природних умовах.

Загалом долина та її днище відносно однорідні. Тим не менш певні відмінності все ж існують. Вони пов'язані з будовою та історією розвитку такої території. Підгірна

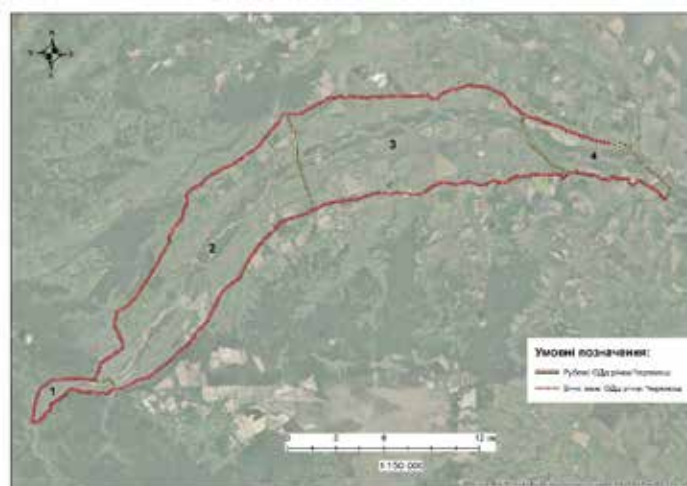


Рис. 2. Схема контурів однорідних ділянок днища долини в межах передгірної частини долини р. Черемош:
1 – Тюдівсько-Вижницька (гірсько-передгірна, перехідна); 2 – Вижницько-Банилівська (підгірна прямолінійна симетрична); 3 – Банилівсько-Вашківська (віддалена від гір, асиметрична); 4 – Вашківсько-Неполоківська (давньогирлова)

частина долини спрямована практично перпендикулярно до зовнішньої межі Карпат (на північний захід). Це відносно симетрична за внутрішньою будовою ділянка. Нижче за течією на характер долини вплинуло місцеве тектонічне підняття у межах річчя річок Рибниця – Черемош – Прут. Тут долина та течія Черемошу змінює напрямок на схід – північний схід і характеризується лівобічною асиметрією.

Нижня частина долини Черемошу – це місце з'єднання з долиною р. Прут. Загальний напрямок течії і долини на схід. Це ділянка тривалого гирлового подовження Черемошу.

У разі виділення ОДД Черемошу у передгір'ях варто також врахувати перехідну ділянку поступового розширення на межі Карпат. Таким чином, виділяються чотири ОДД. Аналіз також показав, що рубежі і кількість ОДД та Одд однакові. Тому на рисунку 2 представлено картосхему з виділеними однорідними ділянками днища долини.

Днище долини окреслено на рівні переходу від другої до третьої надзаплавної тераси (за Я.С. Кравчуком) (Кравчук, 1999), вони мають відносні висоти 5–10 м та 20–30 м. Одд Черемошу у передгір'ях за назвами і характерними ознаками співпадають з ОДД. Крім того, вони займають основну частину долини.

Для ідентифікації ОДРЗ у природних умовах були визначені бічні межі русла і заплави Черемошу. Відносні висоти першої тераси, за Я.С. Кравчуком, становлять 3–4 м, а заплави 1–1,5 м. Межа між ними не завжди чітко виражена. Крім того, існують масиви високої заплави 2–3 м. Це пов'язано зі складною віковою динамікою розгалуженого русла та складною будовою території. Для аналізу територіальної структури у таких умовах необхідно застосовувати метод послідовного наближення. Уточнення положення бічних меж та рубежів потребує більш детального аналізу відносно невеликих ділянок у межах ОДРЗ на основі відповідної інформації. Важливо також визначати багаторічну смугу руслоформування річки як особливу територіальну структуру. Визначення проводять із застосуванням різних методів. Найбільш часто через порівняння відображень положення русла на картах різного віку (картографічна багаторічна смуга руслоформування – БСР). Поряд з використанням картографічної інформації досить важливим є аналіз рельєфу і гідрографічної мережі відповідних ділянок долини. Зокрема, можна аналізувати детальні аеро-

або космознімки. Інформація про БСР важлива тому, що допомагає правильно аналізувати стан СПРЗ, а також узгоджувати, перевіряти різні види інформації.

Таким чином, важливо було враховувати такі ознаки-індикатори, як положення старих бічних проток та чітко виражених ділянок корінних берегів. Додатково враховано таку характеристику СПРЗ, як амплітуда змін рівнів води від меженних до максимальних паводкових – активна амплітуда коливань рівнів води ($A_{\text{на}}$). Вона була зафіксована нами в ході експедиційних обстежень міток високих вод Черемошу після паводку 2008 року. Загалом же виділення бічних меж ОДРЗ характеризується доцільною генералізацією. БСР визначена за картографічний період. Це період близько 250 років. Співвідношення смуг БСР та ОДРЗ виявилось різним у різних частинах долини Черемошу. Також різним є положення БСР, ділянок заплави і терасового днища долини. Ці дані у сукупності з даними руслознавчого аналізу особливостей функціонування СПРЗ дозволили виділити ОДРЗ (визначити положення рубежів). Всі Одд, окрім Вижицько-Банилівської, вміщують по одній ОДРЗ. У межах Вижицько-Банилівської Одд виділяються Вижицько-Мілієвська та Мілієвсько-Банилівська ОДРЗ (рис. 3). Це пов'язано зі змінами річкового ландшафту нижче с. Мілієве. Він характеризується збільшенням ширини заплави та русла, ознаками посилення процесів місцевого перевідкладення крупних фракцій наносів.

Основні параметри однорідних ділянок русла та заплави р. Черемош наведено в табл. 1.

У руслознавчому відношенні виділені ОДРЗ характеризують закономірний перехід від гірської течії до змін у межах підгірної нахиленої алювіальної рівнини. Виділення двох ОДРЗ (Вижицько-Мілієвської та Мілієвсько-Банилівської) в межах другої Одд пов'язане з особливостями реакції системи потік–русло на зміни власних параметрів з віддаленням від гір і утворенням локально розширеного русла та розширеної БСР, що займає більшу частину заплави. Вашківсько-Неполоківська, давньогирлова ОДРЗ є реакцією системи потік–русло р. Черемош на багатовікові, тисячолітні зміни у вузлі злиття з р. Прут, що відбувалися у зв'язку з особливостями місцевих тектонічних процесів.

Особливості СПРЗ на різних ділянках можна також охарактеризувати через ана-

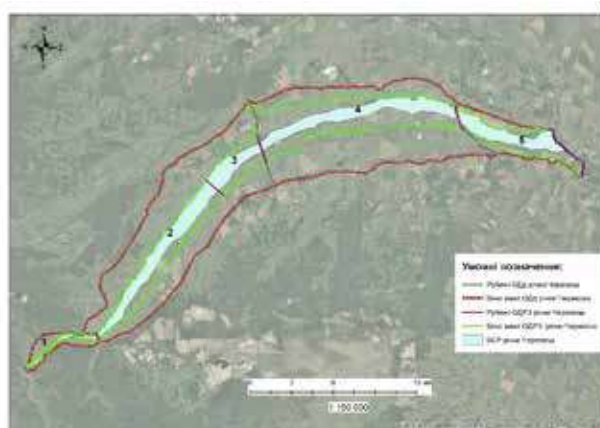


Рис. 3. Схема контурів однорідних ділянок русла і заплави р. Черемош та контурів багаторічної смуги руслоформування:
1 – Тюдівсько-Вижницька; 2 – Вижницько-Мілієвська; 3 – Мілієвсько-Банилівська; 4 – Банилівсько-Вашківська; 5 – Вашківсько-Неполоківська (давньогирлова)

Таблиця 1

Загальні характеристики ОДРЗ

№	Назва ОДРЗ	Довжина, км	Ширина, м	Висоти, м	Похиб, ‰
1.	Тюдівсько-Вижницька	6,2	150–480	355–332,5	3,6
2.	Вижницько-Мілієвська	13,6	1000–1500	332,5–275	4,2
3.	Мілієвсько-Банилівська	4,5	1600–2000	275–257,5	3,9
4.	Банилівсько-Вашківська	14,8	3200–1800	257,5–209	3,3
5.	Вашківсько-Неполоківська (давньогирлова)	7,9	1200–2000	209–187,5	1,5

ліз параметрів поперечних перерізів паводкового потоку, отриманих нами в ході експедиційних досліджень (табл. 2).

З урахуванням цих даних, а також даних таблиці 1 можна зробити висновки, що на переході від першої однорідної ділянки до другої відбувається значне збільшення числа Глушкова, поздовжнього похилу і зменшення середньої глибини паводкового

потoku. Це відповідає саме умовам руслової багаторукавності великої інтенсивності. На нижче розташованих ділянках числа Глушкова (розпластаність потоку) дещо зменшуються, глибини зростають, похили падають, а також відбувається все більша диференціація потоку по ширині (в дужках у таблиці 2 вказані параметри основних проток – струменів).

Таблиця 2

Зведені дані по семи поперечниках

№	Назва створу	В, м	ω, м ²	A _{На} , м	h _с , м	Г
1	Кути	220	700	4	3,35	4,4
2	Чорногузи	500	700	2,35	1,4	16
3	Мілієве	450(130)	860(300)	(3,1)	1,9(2,4)	11,15
4	Попельники	485(80)	900	2,3(3)	1,85	11,85
5	Слобода-Банилів	400	900	2,75	2,25	8,9
6	Вашківці	600(150) (380)	(280)(750)	(2,3)(2,4)	1,8(1,9) (2)	13,4(6,4) (9,75)
7	Чортoria	500(120)	900(400)	(3,4)	1,8(3,3)	12,4(3,3)

Примітки: В – ширина русла; ω – площа поперечного перерізу паводкового потоку; A_{На} – активна амплітуда рівнів води; h_с – середня глибина паводкового потоку; Г – число Глушкова для паводкового потоку. Інформація, подана в дужках, відноситься до активних проток.

Річки, що витікають з гір і протікають у межах нахилених підгірних алювіальних рівнин, у природних умовах загалом характеризуються певною закономірною організацією руслового процесу, його закономірними змінами з віддаленням від гір (Ющенко, 2005). На них додатково можуть накладатися особливості дії місцевих чинників, переважно геоморфологічного характеру.

Зокрема, ці закономірності характерні для підкласу напівгірських крупноалювіальних русел з переважанням геоструминної саморегуляції СПР над шорсткісною, в межах підгірних нахилених алювіальних рівнин, де спостерігається поступовий перехід від розгалужених до меандруючих русел (Ющенко, 2005). Він досить чітко виражений на багатьох ділянках річок Українських Карпат. Це основний вид морфологічних перетворень, який диктується не зовнішніми умовами, а внутрішніми процесами у системі. Вплив зовнішніх бічних процесів може так чи інакше приводити до відхилень від такої закономірності. На послідовність морфологічно однорідних ділянок можуть впливати також крупні притоки, особливо якщо вони транспортують значну кількість крупного руслового алювію, а також інші локальні фактори.

Важливою складовою частиною саморегуляції, внутрішніх змін у системі на передгірних ділянках течії є гідравлічне сортування наносів у зв'язку із падінням питомої потужності потоків. Шляхом гідравлічного сортування (і частково перетирання) наносів система потік-русло ефективно понижує ентропійне (дезорганізаційне) навантаження, збільшує можливості «маневрування» власними формами і, зрештою, звільняється від значного впливу на гідравлічний опір окремих часток наносів та стягається в компактний оптимальний струмінь.

Згідно з проведеними у 70–80-х роках ХХ століття О.Н. Кафтаном та В.В. Онищуком дослідженнями, середній діаметр руслоформуючих наносів річки Черемош становив біля с. Устеріки понад 200 мм; біля м. Вижниця – понад 100 мм і у гирловій частині – 50 мм. Такі зміни в межах передгір'їв є результатом сортування наносів самою СПР (гідравлічне сортування). Поступове відкладання найбільш крупних фракцій корелює зі зменшенням поздовжніх похилів річки вздовж її течії. Це результати одного процесу саморегуляції. Також відзначимо, що звільнення системи від впливу

шорсткості крупних фракцій і поступове уповільнення їх руху призводить до швидких змін у співвідношенні стоку завислих та придонних наносів на користь перших.

Поступовий перехід від розгалужень до меандрування вниз за течією може проявлятися спочатку в посиленні звивистості окремих проток, усе більшій вираженості основного струменя та русла, далі – в розвитку звивин зі спрямленням (елементи незавершеного меандрування). Така трансформація цікава поєднанням елементів різних типів процесів. Крім того, навіть меандруючі русла залишаються відносно розпластаними ($\Gamma = 2,5-3,5$) порівняно з «класичним» меандруванням.

Ділянка р. Черемош у передгір'ях Карпат належить до СПР типу руслової багаторукавності. Основною рисою таких СПР є те, що вони цілісно-диференційовані. Це означає, що в таких умовах не формується один єдиний русловий потік – струмінь. Річкових струменів є декілька, навіть під час проходження видатних паводків. Водночас руслова багаторукавність відрізняється від заплавної тим, що під час активного руслоформування русловий потік повністю вкриває русло, не обтікаючи заплавні островці. Він активно транспортує наноси і перетворює русло. Основні струмені активно мігрують. На річках Передкарпаття в умовах руслової багаторукавності за період між видатними паводками можуть формуватися острови низької заплави, на яких встигає розвиватися досить зрілий деревний покрив. Але під час наступного активного великого паводку навіть він повністю зникає. Цілісність такого потоку означає, що навіть над потужними донними грядками-осередками рухається транзитний потік достатньої глибини та з достатніми швидкостями течії. Такими, що перевищують розмиваючі швидкості (V_0) для цього складу придонних наносів.

Найбільш імовірно, наноси, як і потік та його швидкості, диференційовані по ширині багаторукавного русла. Диференціація насправді відбувається у просторі і досить складно. Але для схематизованого розгляду явища досить розглядати її прояви по ширині. В основних струменях наноси більш крупні, швидкості течії найбільші. На вершинах осередків глибини та швидкості найменші, наноси найдрібніші. Імовірні швидкості та глибини виступають важливим орієнтиром для аналізу інформації про поперечні перерізи та РБВ.

Сама руслова багаторукавність у межах описаних загальних рис може характеризуватися певними різновидами. Насамперед необхідно розглядати закономірні зміни вздовж течії річок з віддаленням від гір у межах розвинутих нахилених алювіальних рівнин, про що вже було сказано вище. Отже, згідно із загальною закономірністю, ближче до гір переважають видовжені протоки (основні річкові струмені), що пов'язано з більшими поздовжніми похилами, більшою активністю транспортування придонних наносів загалом і крупних фракцій зокрема та відповідною структурою, різновидом донних гряд. Далі від гір активність поступово знижується, форми гряд змінюються, наноси пофракційно перевідкладаються. На цьому фоні серед активних струменів (проток) може більше виділятися один основний. Поступово розвиваються прояви, елементи вторинного меандрування. Такі прояви руслового процесу відображаються і на диференціації СПР по ширині, що, зокрема, може бути зафіксовано у структурі поперечних перерізів.

Загальні схеми завжди у реальних умовах супроводжуються певними відхиленнями, доповненнями. Це можуть бути особливості дії місцевих чинників, що впливають на діяльність СПРЗ за тривалі проміжки часу. Вони можуть проявлятися і як певні обмеження, і як формування елементів (проявів) заплавних розгалужень, тобто формування островів, які зберігаються під час проходження видатних паводків. Цікавим і важливим прикладом є так звані «внутрішні дельти», де через місцеві умови СПР відкладає дуже велику кількість наносів, у зв'язку із чим протоки значно розходяться по ширині стосовно плоского днища долини. Такі явища спостерігаються на річках Українських Карпат.

Особливості руслової багаторукавності проявляються також в особливостях СПРЗ. Для них загалом не характерно формування значних (по ширині) ділянок заплави. Крім того, існує специфіка будови та функціонування заплави загалом. Розрізняють більш стару, сформовану «високу» заплаву та «низьку» (сучасну мінливу). Для р. Черемош їхні відносні висоти становлять 0,5–1,5 м та 1,5–2,5 м. Поточна межа між ними також може бути мінливою та нечітко вираженою.

Для Черемошу в передгір'ях у природних умовах характерною була значна інтенсивність процесів транспорту руслоформуючих наносів, морфодинаміка руслової

багаторукавності. Це пов'язано з історією формування і параметрами всієї долини. Це означало, що прояви виникнення елементів меандрування були не дуже чітко виражені аж до гирлової ділянки. Також особливими є прояви дій місцевих чинників, які сприяли утворенню фрагменту внутрішньої дельти, а також особливої давньогирлової СПРЗ у ділянці злиття з р. Прут.

Внаслідок спільної дії протипаводкових та інших інженерних споруд разом з видобутком руслового алювію на річці Черемош поступово розвивається антропогенне врізання. Нами виконано комплексний порівняльний аналіз цього явища як головного процесу антропогенного впливу на гідроморфологію річкового ландшафту.

На рис. 4 наведено дані про хронологічні зміни мінімальних рівнів води у річці Черемош біля селища Кути. Також на рис. 5 наведено графіки поперечних перерізів річки на цій же ділянці за різні роки. Вони показують чітко виражену тенденцію до врізання основного русла річки. Графік ходу рівнів демонструє також неоднозначність тренду. Це може бути пов'язано зі специфікою такої ділянки (ОДРЗ), яка зазнає періодичного інтенсивного впливу виносу значної кількості наносів з гірської частини басейну під час проходження видатних паводків. Загалом ступінь врізу можна оцінити у 1,5–2 м.

Дані гідрологічних спостережень доповнено даними про врізання річки на різних ділянках течії, отриманими із застосуванням GNSS-зйомок. На рис. 6 представлено графік загальних амплітуд врізу р. Черемош за період від середини ХХ століття до теперішнього часу (експедиційні дослідження проводились протягом 2021–2023 рр.).

Графік амплітуд врізу вздовж передгірної ділянки течії р. Черемош показує, що максимальні значення пов'язані з розташуванням Іспаського та Неполоківського кар'єрів (офіційна назва: Чернівецький гравійно-піщаний кар'єр). Біля с. Іспас зафіксовано амплітуду врізу р. Черемош 3,5 м. У гирловій частині річка перебуває в зоні впливу діяльності Чернівецького ГПК (розташованого у с. Неполоківці). Тут зафіксовано амплітуду врізу 4,3 м. Вплив діяльності Іспаського кар'єру розповсюдився вгору (проти течії) на відстань понад 10 км. Амплітуда врізу р. Черемош біля м. Вишніця становить близько 2,0 м. На її величину впливає також відбір руслового алювію, що здійснюється безпосередньо в районі міста в якості «рус-

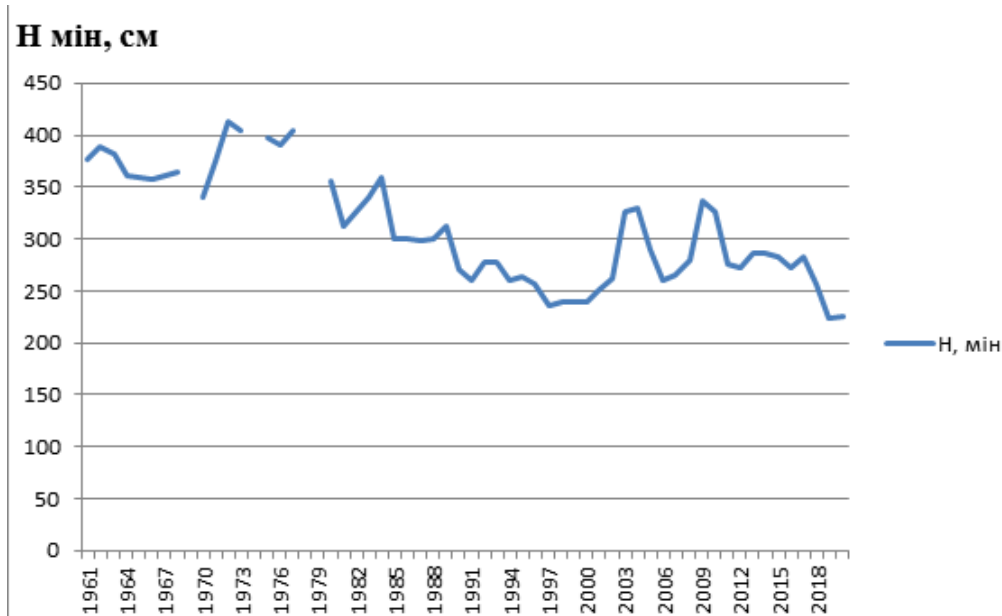


Рис. 4. Графік хронологічних змін мінімальних літніх рівнів води р. Черемош біля селища Кути

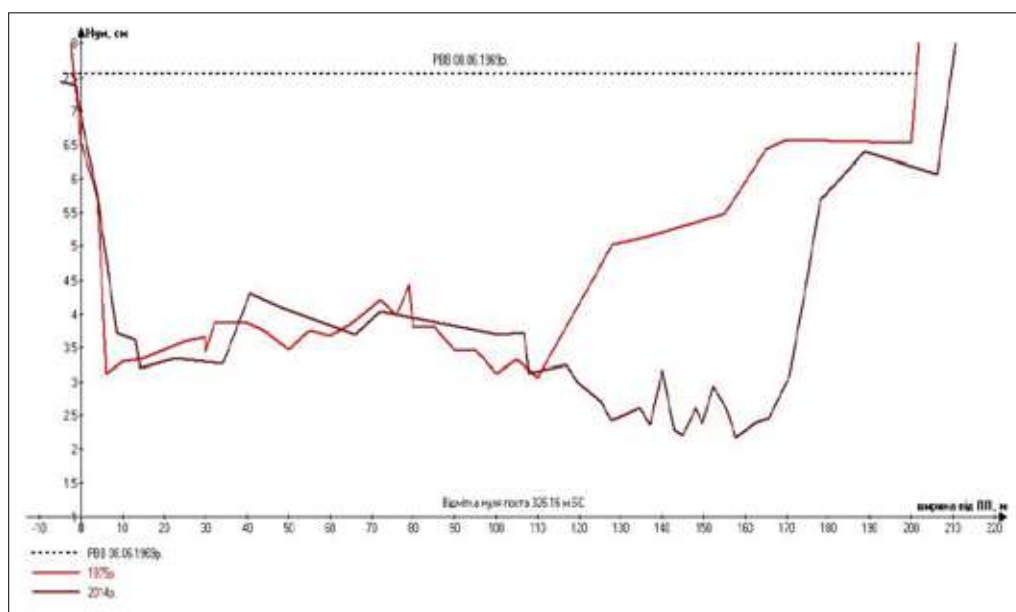


Рис. 5. Поперечні профілі у створі гідропосту р. Черемош – с. Кути (1975 р., 2014 р.)

лорегулюючих робіт», які продовжуються донині (рис. 7).

Вплив Іспаського кар'єру вниз (за течією) розповсюдився на понад 4 км. На ділянці р. Черемош від с. Мілієве до с. Чорторія зафіксовано амплітуди врізу 1,5–0,5 м. Ця ділянка, довжиною понад 22 км, характеризується найменшими проявами відбору руслового алювію, що пов'язано як з природними умовами, доступністю (характеристики СПРЗ, структура дна долини),

так і з розташуванням населених пунктів та комунікацій, потребами в алювію.

Графік врізу та інша інформація також дозволяють отримати дані про орієнтовні темпи врізання річки. Для цього необхідно правильно визначити періоди активного впливу видобутку руслового алювію. Русловий кар'єр у с. Іспас розпочав свою роботу у середині 60-х років XX століття. Наприкінці 80-х років роботи у руслах річок були заборонені та видобуток алю-

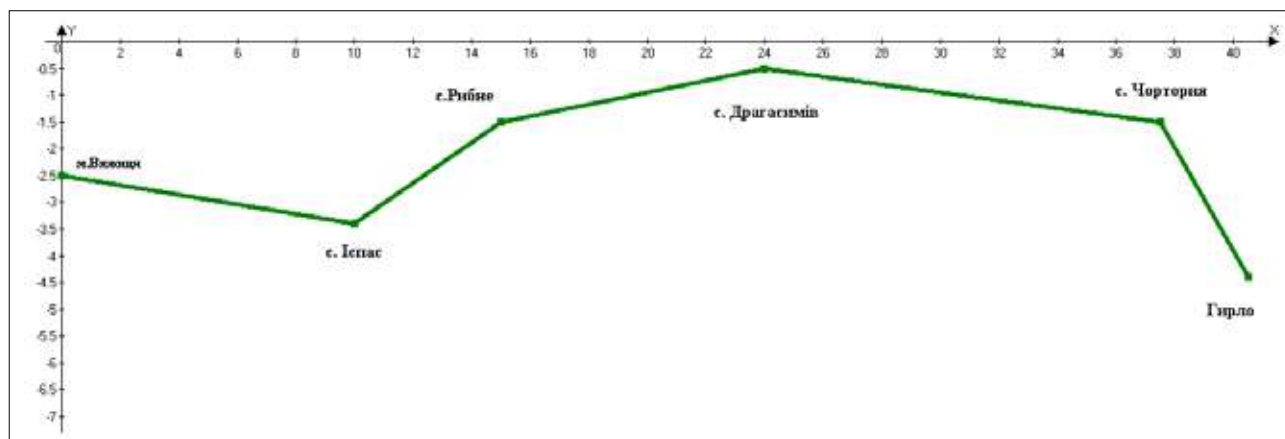


Рис. 6. Графік змін загальної величини (амплітуди) врізу вздовж течії р. Черемош на ділянці від м. Вижниця до гирла (за результатами GNSS-зйомок за період 2020–2021 рр.):
1 – м. Вижниця; 2 – с. Іспас; 3 – с. Рибне; 4 – с. Драгасимів; 5 – с. Чорторія; 6 – гирло



Рис. 7. Відображення частини русла і заплави р. Черемош у межах м. Вижниця станом на 2021 р. (сервіс Google Earth Pro)
(Майже повністю антропогенізована ділянка русла. На лівому березі заготовлений для вивозу русловий алювій. Така ділянка не може представляти високу якість МРА)

вію було перенесено в межі заплав. Отже, початковий, активний період впливу становить приблизно до 25 років. Саме у цей час відбулося основне врізання р. Черемош. За даними експедиційних досліджень, проведених наприкінці 80-х років, його амплітуда оцінювалась близько 5 м. Таким чином, орієнтовні темпи активного врізання становлять понад 200 мм/рік. Темпи на р. Прут та р. Черемош у районі с. Неполоківці визначаються нами за період від середини 60-х років до теперішнього часу. Використано також інформацію з архівних матеріалів вишу-

кувальних робіт 1990–1991 рр. Положення урізу меженного потоку в місці злиття за топокартами середини ХХ століття становило приблизно 191 м. За матеріалами вишукувальних робіт – приблизно 189 м. А за даними GPS-зйомок 2019 року – 186,7 м. Отже, отримаємо відносно однакові темпи врізання, що становлять понад 80 мм/рік. Така різниця порівняно із впливом Іспаського кар'єру може бути пояснена набагато більшою площею діяльності Неполоківського. Оцінка темпів врізання на інших ділянках досліджуваних річок потре-

бує використання додаткової інформації: як картографічної, архівної, так і стосовно організації робіт з видобутку алювію.

Окрім характеристики проблеми АВР, нами також виконано порівняльний аналіз стану морфології СПРЗ (МРА) у природних та антропогенно змінених умовах на характерних ділянках. На основі цього можна зробити відповідні узагальнення та висновки про особливості сучасної територіальної структури. Фактично на всіх ділянках русло тією чи іншою мірою змінилось. Змінились і масиви заплави. На частині ділянок значний вплив здійснили руслові кар'єри сукупно із впливом дамб обвалування. На інших основним, менш інтенсивним, є вплив тільки дамб. Їхня система загалом змінила територіальну структуру ландшафту, утворивши міждамбовий і задамбовий простори, які характеризуються як антропогенно зміненим гідрологічним режимом (а отже, і характером екосистем), так і режимом взаємодії з людиною, характером освоєння. За рахунок змін у русловому процесі, а також з розвитком нових масивів заплави, змінилися параметри БСР, навіть територіальна структура ОДРЗ. Фактично йдеться про антропогенні ОДРЗ. Вони потребують подальшого детального дослідження. Але вже на основі цього дослідження можна дати орієнтовну їх характеристику. Тюдівсько-Вижницька ОДРЗ загалом збереглася, хоча і видозмінена за внутрішнім устроєм. Вона зберігається завдяки значній відмінності від власне передгірних ОДРЗ. У межах природної Вижницько-Мілієвської ОДРЗ за рахунок впливу Іспаського кар'єру та діяльності його наступників утворилася специфічна ділянка зі значними антропогенними змінами русла та заплави. Крім того, цей вплив розповсюдився і на нижче розташовану природну Мілієвсько-Банилівську ОДРЗ (особливу на верхню її частину). Отже, доречно тепер виділяти антропогенну Іспаську ОДРЗ. Деградована колишня внутрішня дельта нижче с. Мілієве фактично повністю втратила природний стан. Відносні розширення розгалуженого русла і прилеглі частини заплави змістилися дещо вниз за течією (до верхньої частини с. Банилів). Вони відрізняються за своєю будовою і від Іспаської ділянки, і від основної частини Банилівсько-Вашківської. Отже, можна виділити антропогенну Верхньо-Банилівську ділянку. Основна частина протяжності Банилівсько-Вашківської ділянки збереглася. Тепер характерним проявом

процесу функціонування СПРЗ є мегамеандрування антропогенної БСР у міждамбовому просторі. Також загалом збереглася у своїй межі Вашківсько-Неполоківська (давньогирлова) ділянка. Але процес тут також значно доповнений мегазвивинами та звичайним меандруванням. Констатуємо сумарний потужний вплив врізання річки і дамб. Значно антропогенно змінено більшу частину ландшафту.

Антропогенне врізання річок тягне за собою низку наслідків, що стосуються змін у функціонуванні СПРЗ, систем інженерних споруд, усіх питань взаємодії людини та річки. Чинник антропогенного врізання, хоч і є здебільшого головним, самим потужним, але водночас у кожних конкретних умовах діє у комплексі з іншими антропогенними впливами та на фоні природного стану річки. Отже, аналіз наслідків антропогенного врізання річок може стосуватися як загальних закономірностей, так і місцевих. Загалом внаслідок врізання виникає більш концентроване, з'єднане русло і збільшується руслова ємність.

Концентрація русла та потоку взаємопов'язані зі змінами основних гідравлічних характеристик останнього. Загальним наслідком концентрації паводкового потоку й основного русла річки в умовах її врізання, важливим як стосовно режиму функціонування СПР, так і стосовно функціонування інженерних споруд, систем берегозахисту є збільшення інтенсивності руслового процесу, зокрема потужності та небезпеки бічних деформацій. Очевидно також, що навіть на відносно спрямлених ділянках виникає значна небезпека стійкості споруд у межах ложа річки. Такі наслідки активно проявляються на досліджуваних ділянках річок починаючи ще від 70-х років ХХ століття.

Окрім змін у функціонуванні СПР та відповідних негативних наслідків, небезпек для споруд, антропогенне врізання річок тягне за собою цілу низку (комплекс) інших. Вони стосуються змін у стані заплави (на що впливають також дамби обвалування та інші чинники), у режимі підземних (насамперед ґрунтових) вод, змін самої територіальної структури МРА, змін потужності і складу алювіальних товщ, а також загалом змін умов функціонування річкових екосистем.

Аналіз даних про МРА р. Черемош показує, що можуть бути різноманітні співвідношення дії АВР та дамб обвалування (разом

із роботами із берегозахисту). Загальним висновком є те, що у всіх цих випадках русловий процес стає більш інтенсивним (концентрація струменів, транспорт наносів, підмив споруд тощо). На багатьох локальних ділянках, де сучасна, антропогенна смуга руслоформування притискається до споруд берегозахисту і дамб, виникають проблеми розмиву та врегулювання небезпечних ситуацій. Також можуть виникати проблеми затоплень прилеглих територій, задамбового простору.

Цікавим і важливим питанням є надійність функціонування дамб обвалування. Чи на всіх ділянках вони виконують свою роль? Водночас існують питання їхнього впливу на річкові екосистеми. Руйнування інженерних споруд історично пов'язане не тільки з врізанням річок та його наслідками, але і з невдалим інженерними рішеннями (зокрема, з розташуванням дамб та інших споруд у зоні активної дії паводкового потоку).

Висновки

Застосування комплексу сучасних методів гідроморфологічного аналізу гідроморфології МРА (на прикладах р. Черемош) дозволяє зробити висновки щодо удосконалення сучасних підходів до планування, оцінювання, збереження або відновлення його якості. Це стосується реалізації ідеї ландшафтно-басейнового планування. Принципово важливою є зміна сучасної системи гідроморфологічних показників якості. Зокрема, це стосується регіону дослідження – передгірних ділянок річок Українських Карпат.

Застосування комплексу методів вивчення антропогенної трансформації гідроморфології річкового ландшафту (на прикладах р. Черемош), а також наслідків змін дозволило виявити важливі її закономірності: запропонувати низку основних заходів для покращення його якості.

За результатами дослідження природного і антропогенно зміненого станів ландшафту

р. Черемош можна зробити основний висновок про його істотні зміни. Вони проявилися як у характерних рисах руслового та заплавного процесів, так і у структурі ландшафту. Основними чинниками антропогенного впливу виступають відбір руслового алювію, побудова дамб обвалування, освоєння частин заплави. Спираючись на результати дослідження, нами запропоновано заходи щодо оптимізації управління функціонування молодого ландшафту р. Черемош: зважаючи на значні ширини міждамбового простору, все ще можлива та доцільна постановка питання про річковий екологічний коридор, який буде виконувати функції водоохоронних земель; відсічені частини БСР і заплави, геосистеми млинівки, заболочені та меліоровані землі можуть виконувати роль буферної зони, зони рекреації, водного господарства; екологічний коридор також варто продовжити в межах гір; територія вузла злиття з р. Прут потребує особливої уваги та відродження природного екологічного потенціалу, якості, а також розвитку рекреаційного потенціалу; молодий річковий ландшафт біля м. Вишніця потребує розробки підходів, властивих для створення екологічних коридорів та зон рекреації в межах урбанізованих територій; моніторингові гідроморфологічні дослідження повинні включати поряд із тими, що передбачені під час розробки та впровадження ПУРБ, визначення змін висотного положення русла і заплави. Виходячи з даних нашого дослідження, вони повинні охоплювати по дві-чотири локальні ділянки в межах антропогенних ОДРЗ. Також важливим є моніторинг змін руслового процесу з використанням даних ДЗЗ; важливим є подальше детальне вивчення проблемних ділянок, де сучасне русло притиснуто до споруд берегозахисту і потік може їх руйнувати, а також може виникати небезпека затоплень прилеглих територій, зокрема задамбового простору; важливо вивчати питання реальних зон і процесів затоплення.

Список використаної літератури

- Гродзинський М.Д. Пізнання ландшафту: місце і простір : монографія у 2 т. Київ : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2005. Т. 2. 504 с.
- Денисик Г.І. Антропогенне ландшафтознавство : навчальний посібник. Частина І. Глобальне антропогенне ландшафтознавство. Вінниця : ПП «ТД Видавництво Едельвейс і К», 2012. 306 с.
- Денисик Г.І., Лаврик О.Д. Антропогенні ландшафти річища та заплави Південного Бугу : монографія. Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К», 2012. 210 с.
- Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 23 жовтня 2000 року про встановлення рамок заходів Співтовариства в галузі водної політики [Електронний ресурс]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text (дата звернення: 07.06.2021).

Директива 2001/42/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 27 червня 2001 р. про оцінку наслідків окремих планів та програм для довкілля. [Електронний ресурс]. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dyrektyva_2001.doc (дата звернення: 07.06.2021).

Ковальчук А.І., Ковальчук І.П. Атласне картографування річково-басейнових систем : монографія. / наук. ред. проф. І.П. Ковальчук. Львів : Простір-М, 2018. 348 с.

Ковальчук І.П. Павловська Т.С. Річково-басейнова система Горині: структура, функціонування, оптимізація : монографія. Луцьк : РВВ «Вежа» Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки, 2008. 244 с.

Ковальчук І., Ковальчук І., Ковальчук А., Царик А., Павловська Т., Пилипович О. Концептуальні засади досліджень геоекологічного стану річково-басейнових систем та їх цифрового атласного картографування. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія : Географія*. 2023. Том 5. № 2. С. 4–16. <https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.2.1>.

Ковальчук П.І., Микитчин О.І., Андрейчук Ю.М., Іванов Є.А. Заплавно-русловий комплекс малої річки: оцінка стану, оптимізаційні заходи. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2016. № 1–2. С. 82–91.

Кравчук Я.С. Геоморфологія Передкарпаття. Львів : Меркатор, 1999. 188 с.

Маринич О.М., Шищенко П.Г. Фізична географія України : підручник. 3-тє вид., Київ : Т-во «Знання», КОО. 2006. 479 с.

Національний атлас України. / НАН України, Інститут географії, Державна служба геодезії, картографії та кадастру; голов. ред. А.Г. Руденко. Київ : ДНВП «Картографія», 2007. 435 с.

Ободовський О.Г. Руслові процеси : підручник. Київ : Київський університет, 2017. 495 с.

Ободовський О.Г., Онищук В.В., Розлач З.В. та ін. Латориця: гідрологія, гідроморфологія, руслові процеси. Київ : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2012. 319 с.

Ободовський О.Г., Ярошевич О.Є. Гідроморфологічна оцінка якості річок басейну Верхньої Тиси / За ред. О.Г. Ободовського. Київ : Інтертехнодрук, 2006. 70 с.

Паланичко О.В. Закономірності руслоформування річок Передкарпаття : автореф. дис. канд. геогр. наук : 11.00.07. Київ, 2010. 22 с.

Посібник з Карпатської конвенції / Регіональний Екологічний Центр Центральної та Східної Європи. Угорщина, 2007. 198 с.

Річкові долини: природа–ландшафти–людина : збірник наукових праць / За редакцією В.П. Круля, Б.Т. Рідуша. Чернівці-Сосновець. 2007. 314 с.

Руденко А.Г., Маруняк Є.О., Голубцов О.Г. та ін. Ландшафтне планування в Україні. Київ : Видавництво «Реферат», 2014. 144 с.

Цись П.М. Розділ «Геоморфологія і неотектоніка» в кн. «Природа Українських Карпат». Вид. Львів. у-ту, 1968. С. 50–86.

Ющенко Ю. Проблеми соціально-економіко-географічних та гідроекологічних досліджень річкових русел та заплав. *Науковий вісник Чернівецького університету. Серія : Географія*. Вип. 795. Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2018. С. 102–108.

Ющенко Ю.С. Водохоронні землі. *Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології*. Київ : Ніка-Центр, 2019а. С. 32–38.

Ющенко Ю.С. Геогідроморфологічні закономірності розвитку русел. Чернівці : Рута, 2005. 320 с.

Ющенко Ю.С. Інтегроване басейново-просторове планування. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019b. № 3 (54). С. 91–93.

Ющенко Ю.С., Пасічник М.Д., Чернега П.І. Територіальна структура річкових долин. *Науковий вісник Чернівецького університету. Серія : Географія*. Вип. 612–613. Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2012а. С. 188–196.

Ющенко Ю.С., Гончар О.М., Григорійчук В.В. та ін. Гідроекологічне обґрунтування безпечного та збалансованого розвитку річкових природно-антропогенних систем Передкарпаття : монографія. / за ред. Ю.С. Ющенка. Чернівці : Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2017. 472 с.

Ющенко Ю.С., Кирилюк А.О., Костенюк А.В., Опеченик В.М., Паланичко О.В., Пасічник М.Д. Територіальна структура умов та проявів руслоформування річок. *Фізична географія та геоморфологія*. Вип. 2 (66). Київ : ВГЛ «Обрії», 2012b. С. 72–79.

Bratescu C. Einige quartäre und imminente Flussanzapfungen in der Bukowina und in Pakutien. *Bul. fac. De stinti. din Cernauti*, 1928. V. II.

Doliny rzeczne: Przyroda-krajobraz-czlowiek. (River's Valleys: Nature-Landscapes-Human). Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego PTG nr7. Sosnowiec, 2007.

Hnativ I., Balkovskiy V., Cherniuk V., Panas N., Korinec Yu., Yakhno O., Hnativ R. Development of Channel Processes and the Need to Forecast Deformations of the Stryi Riverbed. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. № 23 (5). P. 187–195. <https://doi.org/10.12911/22998993/147320>.

Lavryk O., Korinnyi V., Kyryliuk L., Tsymbaliuk V. Height differentiation of valley-river landscapes of the right-bank Ukraine. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, Series: Geology. Geography. Ecology*. 2022. № 56. P. 122–131. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-08>.

Rossi Francesca Method and Practice for Integrated Water Landscapes Management: River Contracts for Resilient Territories and Communities Facing Climate Change. *Urban Science*. 2022. № 6. P. 83. <https://doi.org/10.3390/urbansci6040083>.

Verbrugge L., Buchecker M., Garcia X., Gottwald S., Mueller S., Praestholm S., Stahl A. Olafsson Integrating sense of place in planning and management of multifunctional river landscapes: experiences from five European case studies. *Sustainability Science*. 2019. № 14. P. 669–680. <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00686-9>

Yushchenko Yu.S., Pasichnyk M.D., Darchuk K.V., Kostashchuk I.I., Zakrevskiy O.V. Contemporary Geoinformation Technologies in Postmodern Education of Geographers, Hydrometeorologists, Land Surveyors. *Postmodern Openings*. 2022. № 13 (2). P. 409–429. <https://doi.org/10.18662/po/13.2/462>.

References

Ghrodzyskiy, M.D. (2005). Piznannja landshaftu: misce i prostir [Knowledge of the landscape: place and space]: monohrafiya u 2 t. Kyiv: Vydavnycho-polighrafichnyj centr «Kyivskij universytet» [in Ukrainian].

Denysyk, Gh.I. (2012). Antropoghenne landshaftoznavstvo: navchalnyj posibnyk. Chastyna I. Ghlobaljne antropoghenne landshaftoznavstvo [Anthropogenic landscape science. Part I. Global anthropogenic landscape science]. Vinnycja: PP «TD Vydavnytvo Edeljevs i K» [in Ukrainian].

Denysyk, Gh.I., & Lavryk, O.D. (2012). Antropoghenni landshafty richyshha ta zaplavy Pivdennoho Bugu: monohrafiya [Anthropogenic landscapes of the river and floodplains of the Southern Bug]. Vinnycja: PP «TD «Edeljevs i K» [in Ukrainian].

Dyrektyva 2000/60/JeS Jevropejskogho Parlamentu i Rady vid 23 zhovtnja 2000 roku pro vstanovlennja ramok zakhodiv Spivtovarystva v ghaluzi vodnoji polityky [Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official journal of the European Communities*]. [Electronic resource] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text (access date 07.06.2021) [in Ukrainian].

Dyrektyva 2001/42/JeS Jevropejskogho Parlamentu ta Rady vid 27 chervnja 2001 r. pro ocinku naslidkiv okremykh planiv ta proghram dlja dovkillja [Directive 2001/42/EC of the European Parliament and of the Council of June 27, 2001 on the assessment of the consequences of certain plans and programs for the environment] [Electronic resource] URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dyrektyva_2001.doc (access date 07.06.2021) [in Ukrainian].

Kovalchuk, A.I., & Kovalchuk, I.P. (2018). Atlasne kartoghrafuvannja richkovo-basejnovykh system: monohrafiya [Atlas mapping of river basin systems: monograph]. Lviv: Prostir-M [in Ukrainian].

Kovalchuk, I., Kovalchuk, I., Kovalchuk, A., Caryk, L., Pavlovsjka, T., & Pylypovych, O. (2023). Konceptualjni zasady doslidzhenj gheoekologichnogho stanu richkovo-basejnovykh system ta jikh cyfrovogho atlasnogho kartoghrafuvannja [Conceptual principles of research into the geoecological state of river-basin systems and their digital atlas mapping]. *Naukovi zapysky Ternopil'skogho nacional'nogho pedaghoghichnogho universytetu imeni Volodymyra Ghnatjuka. Serija: Gheoghrafiya. [Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk. Series: Geography]*, 5(2), 4–16. <https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.2.1> [in Ukrainian].

Kovalchuk, I.P., & Pavlovsjka, T.S. (2008). Richkovo-basejnova systema Ghoryni: struktura, funkcionuvannja, optymizacija: monohrafiya [River-basin system of Horyn: structure, functioning, optimization: monograph]. Luck: RVV «Vezha» Volyn. nac. un-tu im. Lesi Ukrajinky [in Ukrainian].

Kovalchuk, P.I., Mykytchyn, O.I., Andrejchuk, Ju.M., & Ivanov, Je.A. (2016). Zaplavno-ruslovyj kompleks maloji richky: ocinka stanu, optymizacijni zakhody [The floodplain complex of the small river: state assessment, optimization measures]. *Zemleustrij, kadastr i monitoryngh zemelj: nauk.-*

vyrobn. zhurn. [Land management, cadastre and land monitoring: science and production journal], 1–2, 82–91 [in Ukrainian].

Kravchuk, Ja.S. (1999). Gheomorfologhija Peredkarpattja [Geomorphology of Precarpathian]. Lviv : Merkator [in Ukrainian].

Marynych, O.M., & Shyshhenko, P.Gh. (2006). Fizychna gheoghrafija Ukrajinj [Physical geography of Ukraine]: pidruchnyk. 3-tje vyd., Kyiv: T-vo «Znannja», KOO [in Ukrainian].

Natsionalnyi atlas Ukrainy [National atlas of Ukraine] (2007). NAN Ukrainy, Instytut heohrafii, Derzhavna sluzhba heodezii, kartohrafii ta kadastru; holov. red. L.H. Rudenko. Kyiv: DNVP «Kartohrafiia» [in Ukrainian].

Obodovskij, O.Gh. (2017). Ruslovi procesy [Stream processes]: pidruchnyk. Kyiv: Kyjivskij universytet [in Ukrainian].

Obodovskij, O.Gh., Onyshhuk, V.V., Rozlach, Z.V., Konovalenko, O.S., Yaroshevych, O.Ie., Yatsjuk, M.V., Chipak, V.P., Fediv, R.Ie., Osijskij, E.I., Manivchuk, V.M., & Afanasjev, S.O. (2012). Latorycja: ghidrologhija, ghidromorfologhija, ruslovi procesy [Latoritsa: hydrology, hydromorphology, channel processes]. Kyiv: Vydavnycho-poligrafičnyj centr «Kyjivskij universytet» [in Ukrainian].

Obodovskij, O.Gh., & Jaroshevych, O.Je. (2006). Ghidromorfologhichna ocinka jakosti richok basejnu Verkhnoj Tysy [Hydromorphological assessment of river quality in the Upper Tisza basin]. Za red. O.Gh. Obodovskogho. Kyiv: Intertekhnodruk [in Ukrainian].

Palanychko, O.V. (2010). Zakonomirnosti rusloformuvannja richok Peredkarpattja [Riverbed Formation in Peredkarpattia Rivers]. *Extended abstract of Candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].

Posibnyk z Karpatskoji konvenciji (2007). [Guide to the Carpathian Convention]. Reghionalnij Ekologichnij Centr Centralnoji ta Skhidnoji Jevropy. Ughorshhyna [in Ukrainian].

Richkovi dolyny: pryroda-landshafty-ljudyna (2007). [River valleys: nature-landscapes-people]: zbirnyk naukovykh pracj / Za redakcijeju V.P. Krulja, B.T. Ridusha. Chernivci-Sosnovec [in Ukrainian].

Rudenko, L.Gh., Marunjak, Je.O., & Gholubcov, O.Gh. et al. (2014). Landshaftne planuvannja v Ukrajinj [Landscape planning in Ukraine]. Kyiv: Vydavnytvo «Referat» [in Ukrainian].

Cysj, P.M. (1968). Rozdil «Gheomorfologhija i neotektonika» [Geomorphology and neotectonics] v kn. «Pryroda Ukrajinsjkykh Karpat» [Nature of the Ukrainian Carpathians]. Vyd. Ljviv. u-tu, 50–86 [in Ukrainian].

Jushhenko, Ju. (2018). Problemy socialjno-ekonomiko-gheoghrafichnykh taghidroekologichnykh doslidzenj richkovykh rusel ta zaplav [Problems of socio-economic-geographical and hydroecological studies of riverbeds and floodplains]. *Naukovyj visnyk Chernivckogho universytetu. Seriya Heohrafiya [Scientific Bulletin of Chernivtsi University. Geography Series]*, 795, 102–108 [in Ukrainian].

Jushhenko, Ju.S. (2019a). Vodookhoronni zemli [Water protection lands]. *Problemy ghidrologhiji, ghidrokhimiji, ghidroekologhiji [Problems of hydrology, hydrochemistry, hydroecology]*. Kyiv : Nika-Centr, 32–38 [in Ukrainian].

Jushhenko, Ju.S. (2005). Gheoghidromorfologhichni zakonomirnosti rozvytku rusel [Geohydromorphological patterns of channel development]. Chernivci: Ruta [in Ukrainian].

Jushhenko, Ju.S. (2019b). Integhrovane basejno-prostorove planuvannja [Integrated basin-spatial planning]. *Ghidrologhija, ghidrokhimija i ghidroekologhija. [Hydrology, hydrochemistry and hydroecology]*, 3 (54), 91–93 [in Ukrainian].

Jushhenko, Ju.S. Pasichnyk, M.D., & Chernegha, P.I. (2012a). Terytorialna struktura richkovykh dolyn [Territorial structure of river valleys]. *Naukovyj visnyk Chernivckogho universytetu. Seriya: Heohrafiya [Scientific Bulletin of Chernivtsi University. Geography Series]*, 612–613, 188–196 [in Ukrainian].

Jushhenko, Ju., Ghonchar, O., Ghryghorijchuk, V., Karavan, Ju., Kostenjuk, L., Nastjuk, M., Nykolajev, A., Palanychko, O., Pasichnyk, M., Shevchuk, A., Shevchuk, Ju., & Jushhenko, O. (2017). Ghidroekologhichne obgruntuvannja bezpechnogho ta zbalansovanogho rozvytku richkovykh pryrodno-antropoghennykh system Peredkarpattja [Hydro-ecological substantiation of safe and balanced development of natural and anthropogenic river systems of Precarpathian]: monoghrafija. / za red. Ju.S. Jushhenka. Chernivci: Chernivckij nac. un-t im. Ju. Fedjkovycha [in Ukrainian].

Jushhenko, Ju.S., Kyryljuk, A.O., Kostenjuk, L.V., Opechenyk, V.M., Palanychko, O.V., & Pasichnyk, M.D. (2012b). Terytorialna struktura umov ta projaviv rusloformuvannja richok [Territorial structure of conditions and manifestations of river channel formation]. *Fizychna*

gheoghrafija ta gheomorfologhija [Physical geography and geomorphology], 2 (66), 72–79 [in Ukrainian].

Bratescu, C. (1928). Einige quartare und imminente Flussanzapfungen in der Bukowina und in Pakutien [Some quaternary and imminent river taps in Bukovina and Pakutia]. *Bul. fac. De stinti. din Cernauti*. V. II. [in Romanian].

Doliny rzeczne: Przyroda–krajobraz–czlowiek (2007). [River's Valleys: Nature–Landscapes–Human]. *Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego PTG nr7*. Sosnowiec [in Polish].

Hnativ, I., Balkovskyi, V., Cherniuk, V., Panas, N., Korinec, Yu., Yakhno, O., & Hnativ, R. (2022). Development of Channel Processes and the Need to Forecast Deformations of the Stryi Riverbed. *Journal of Ecological Engineering*, 23(5), 187–195. <https://doi.org/10.12911/22998993/147320> [in English].

Lavryk, O., Korinnyi, V., Kyryliuk, L., & Tsymbaliuk, V. (2022). Height differentiation of valley-river landscapes of the right-bank Ukraine. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, Series: Geology. Geography. Ecology*, 122–131. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-08> [in English].

Rossi, Francesca (2022). Method and Practice for Integrated Water Landscapes Management: River Contracts for Resilient Territories and Communities Facing Climate Change. *Urban Sci.*, 6, 83. <https://doi.org/10.3390/urbansci6040083> [in English].

Verbrugge, L., Buchecker, M., Garcia, X., Gottwald S., Mueller, S., Praestholm, S., & Stahl, A. (2019). Olafsson Integrating sense of place in planning and management of multifunctional river landscapes: experiences from five European case studies. *Sustainability Science*, 14, 669–680. <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00686-9> [in English].

Yushchenko, Yu.S., Pasichnyk, M.D., Darchuk, K.V. Kostashchuk, I.I., & Zakrevskyi, O.V. (2022). Contemporary Geoinformation Technologies in Postmodern Education of Geographers, Hydrometeorologists, Land Surveyors. *Postmodern Openings*, 13 (2), 409–429. <https://doi.org/10.18662/po/13.2/462> [in English].

Отримано: 28.01.2025

Прийнято: 11.02.2025



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 11
Український журнал природничих наук
№ 11

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

ГЕОГРАФІЧНІ НАУКИ

УДК 634.7+338.4

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.35>

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЯГІДНИЦТВА В УКРАЇНІ

І. В. Поручинська¹, А. М. Слащук²

У статті проаналізовано поточний стан розвитку ягідництва в Україні, а також визначено його роль у структурі сільськогосподарства. Особливу увагу приділено перспективам розвитку галузі з урахуванням сучасних тенденцій на міжнародному ринку. Визначено, що природно-кліматичні умови України є сприятливими для розвитку ягідництва як важливої галузі сільськогосподарського виробництва та перспективного напрямку агробізнесу. Здійснено аналіз динаміки змін основних показників розвитку галузі за 2013–2023 роки, зокрема площ насаджень, урожайності та загального обсягу виробництва, під впливом окремих чинників. Виявлено, що ягідні культури здебільшого вирощуються у господарствах населення по всіх регіонах країни, проте найбільше у Київській, Дніпропетровській, Житомирській, Волинській, Львівській, Черкаській та Вінницькій областях. Проаналізовано структуру виробництва ягід за ключовими видами – полуницею та суницею, малиною та ожиною, смородиною й агрусом. Проведено порівняння площ насаджень, обсягів виробництва, урожайності основних ягідних культур. Охарактеризовано особливості вирощування нішевих ягідних культур в Україні, зокрема лохини, обліпихи, чорниці, жимолості, чорноплідної горобини. Зазначено сорти, які є найбільш перспективними для вирощування. Розглянуто структуру та географію експорту ягідної продукції. З'ясовано, що у структурі експорту переважають заморожені ягоди малини, чорниці, ожини, полуниці і суниці, а продукція експортується переважно до країн Європейського Союзу та Китаю. В експорті свіжих ягід лідирують лохина та малина, основними ринками збуту є європейські. Визначено, що подальший розвиток галузі ягідництва передбачає створення нових насаджень, підвищення врожайності ягідних культур і покращення якості продукції. Для подальшого розвитку галузі ягідництва України необхідно зосередити увагу на вирощуванні якісної, рентабельної та конкурентоспроможної продукції як для внутрішнього ринку, так і на експорт.

Ключові слова: ягідництво, площі насаджень, обсяги виробництва, урожайність, експортний потенціал.

¹ кандидат географічних наук,
доцент кафедри економічної та соціальної географії
(Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк)
e-mail: rinaporuchynska@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4294-1584
² кандидат географічних наук,
доцент кафедри економічної та соціальної географії
(Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк)
e-mail: andrii.slashchuk@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1769-5377

STATISTICAL ANALYSIS OF BERRY GROWING IN UKRAINE

I. V. Poruchynska, A. M. Slashchuk

The article analyzes the current state of berry growing in Ukraine, and also defines its role in the structure of agriculture. Special attention is paid to the prospects for the development of the industry, taking into account modern trends in the international market. It was determined that the natural and climatic conditions of Ukraine are favorable for the development of berry growing as an important branch of agricultural production and a promising direction of agribusiness. An analysis of the dynamics of changes in the main indicators of the industry's development over the last ten years, in particular, the area of plantations, yield and total production volume, under the influence of certain factors, was carried out. It has been established that berry crops are grown mainly in households, in all regions of the country, but mostly in Kyiv, Dnipropetrovsk, Zhytomyr, Volyn, Lviv, Cherkasy and Vinnytsia regions. The structure of berry production was considered by the main types – strawberries and raspberries, raspberries and blackberries, currants, gooseberries. A comparison was made of planting areas, production volumes, and yields of the main berry crops. The peculiarities of the cultivation of niche berry crops in Ukraine are characterized - blueberries, sea buckthorn, blueberries, honeysuckle, black rowan. Varieties that are the most promising for growing are indicated. The structure and geography of the export of berry products are considered. It was found out that the export structure is dominated by frozen berries – raspberries, blueberries, blackberries, strawberries and strawberries, and the products are exported mainly to the countries of the European Union and China. Blueberries and raspberries are the leaders in the export of fresh berries, the main sales markets are European. It was determined that the further development of the berry growing industry involves the creation of new plantations, increasing the yield of berry crops and improving the quality of products. For the further development of the berry industry of Ukraine, it is necessary to focus attention on the cultivation of high-quality, profitable and competitive products both for the domestic market and for export.

Key words: berry growing, planting areas, production volumes, productivity, export potential.

Вступ

Кожного року у світі збільшується споживання ягідної продукції. За статистичними даними, воно зростає приблизно на 4% щороку. Попит на ягоди є найвищим у країнах, які характеризуються високими доходами. Ягоди вирощують у багатьох країнах світу, але у географічному розподілі їх насаджень спостерігаються відмінності. Найбільшу географічну поширеність має полуниця, яку вирощують у понад 70 країнах, на другому місці – малина, насадження якої є приблизно у 40 країнах, а замикає трійку смородина, яку вирощують у понад 30 країнах. Найбільші площі насаджень лохини розташовані у країнах Північної Америки та Європейського Союзу (Ринок..., 2025).

У зв'язку зі зміною клімату та різними новими проблемами ягідний сектор активно працює над виведенням нових сортів, пошуком нових способів оптимізації технологій вирощування, розробкою нових ланцюгів постачань і екологічно чистого пакування, що підлягає вторинній переробці.

Питанням дослідження ягідництва як стратегічно важливого напрямку сільського господарства та агробізнесу присвячено праці багатьох науковців, зокрема А.М. Галат, Б.В. Духницького,

Н.А. Карасьової, Ю.В. Кернасюк, Б.І. Мельничука. І.А. Сало, Г.Є. Савенко, В.В. Писаренка та інших. Тематика наукових праць стосується вивчення сучасного українського та світового ринків ягідної продукції, перспектив українських виробників на світовому ринку.

Проте дослідження тенденцій розвитку ягідництва в Україні в сучасних умовах, а також підвищення конкурентоспроможності українських виробників на світовому ринку потребує подальшого вивчення.

Мета статті – проаналізувати динаміку змін у галузі ягідництва України за 2013–2023 роки, охарактеризувати сучасний стан галузі на основі офіційних статистичних даних, розглянути тенденції розвитку світового ринку ягід, місце і перспективи в ньому України.

Матеріал і методи

Вихідними матеріалами стали статистичні дані Державної служби статистики України, Української Асоціації аграрного експорту та Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні. Основними методами, використаними під час написання статті, були статистичні, аналізу, синтезу, узагальнення, порівняння тощо.

Результати та обговорення

Природно-кліматичні умови України сприяють розвитку ягідництва як важливої галузі сільського господарства та перспективного напрямку агробізнесу. Споживачі можуть отримувати свіжу продукцію починаючи з ранньої весни і до осені завдяки високій врожайності та хорошим смаковим якостям різноманітних сортів ягід.

В Україні на ягідні культури припадає близько 2% площі всіх плодово-ягідних насаджень, а основними виробниками продукції є особисті селянські господарства, на які припадає приблизно 84% усього виробництва (Плодово-ягідна..., 2022).

За даними Державної служби статистики, станом на 2023 рік в Україні площа під ягідними культурами становила 17,2 тисячі гектарів (без урахування тимчасово окупованих територій та частини територій, на яких ведуться або велися бойові дії).

Валовий збір, тобто загальний обсяг виробництва, із загальної площі насаджень становить 1205,4 тис. ц ягід (Державна..., 2025).

Протягом 2013–2023 років відбулось скорочення загальної площі під ягідниками на 5,4 тис. га. Площа насаджень суниці та полуниці скоротилась на 2,1 тис. га, смородини – на 2,0 тис. га, малини й ожини – на 0,7 тис. га, агрусу – на 0,6 тис. га. Проте варто зазначити, що ці показники не повністю відображають наявну ситуацію, оскільки дані з деяких територій відсутні через воєнні дії.

За даними Державного управління статистики, суниця і полуниця, малина і ожина, смородина та лохина входять до п'ятірки найбільших ягідних культур в Україні за площею посівів (табл. 1).

Майже всі ягідні культури мали приріст урожайності за досліджуваний період: малина й ожина – на 21,9%, смородина –

Таблиця 1

Насадження ягідних культур в Україні* (Державна..., 2025)

Ягідні культури	Роки										
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
<i>Малина й ожина</i>											
Площа насаджень, тис. га	5,3	5,1	5,2	4,6	5,2	5,6	5,6	5,5	5,6	4,9	4,6
Обсяг виробництва (валовий збір), тис. ц	295,1	308,0	303,6	319,2	341,6	351,5	355,4	353,1	362,9	355,7	335,4
Урожайність, ц з 1 га площі насаджень	57,4	62,6	61,0	65,1	65,7	65,9	65,7	65,1	67,4	68,3	73,5
<i>Суниця та полуниця</i>											
Площа насаджень, тис. га	9,2	8,7	8,6	8,0	8,2	8,3	8,2	8,6	8,3	7,1	7,1
Обсяг виробництва (валовий збір), тис. ц	706,9	668,6	640,3	619,3	550,4	623,3	626,2	551,7	622,5	543,1	533,8
Урожайність, ц з 1 га площі насаджень	82,7	81,1	78,2	77,0	68,6	77,1	77,0	67,9	77,3	74,8	76,7
<i>Смородина</i>											
Площа насаджень, тис. га	5,5	5,5	5,5	4,8	5,0	5,1	4,5	4,3	4,1	3,8	3,5
Обсяг виробництва (валовий збір), тис. ц	266,1	257,9	255,4	245,0	271,4	296,3	265,5	257,9	270,3	246,9	228,4
Урожайність, ц з 1 га площі насаджень	59,5	57,9	56,6	51,8	87,7	64,6	64,6	67,3	73,1	72,3	75,1
<i>Агрус</i>											
Площа насаджень, тис. га	1,0	0,9	0,9	0,9	0,5	0,5	0,5	0,9	0,9	0,8	0,4
Обсяг виробництва (валовий збір), тис. ц	73,1	68,1	66,3	65,2	78,2	81,5	81,1	81,1	89,0	75,9	71,0
Урожайність, ц з 1 га площі насаджень	75,5	72,5	71,4	72,4	84,2	88,7	88,3	87,1	95,8	90,2	92,3

*Дані наведено без урахування тимчасово окупованих російською федерацією територій та частини територій, на яких ведуться (велися) бойові дії.

на 20,8%, агрус – на 18,2%. Натомість урожайність суниці та полуниці зменшилась на 7,3%. Ефективність невеликих виробників ягід виявилася вищою, адже у господарствах населення урожайність суниці та полуниці у 2023 році перевищила середній показник на 2,2%, малини та ожини – на 5,6%, а смородини – на 18,5%.

Загальні обсяги виробництва ягід з 2013 року скоротилися на 11,6%, причому обсяги виробництва суниці й полуниці скоротилися на 24,5%, смородини – на 14,2%, агрусу – на 2,9%, а обсяги виробництва малини й ожини зросли на 12,0% (Державна..., 2025).

Площі, відведені під вирощування ягідних культур, є у всіх областях України. Найбільше їх у Київській, Дніпропетровській, Житомирській, Волинській, Львівській, Черкаській та Вінницькій областях. Якщо ж говорити про окремі ягідні культури, то площі під такими культурами, як малина й ожина, полуниця та суниця, смородина, розподілені рівномірно на території усіх областей. Площі агрусу є лише у Дніпропетровській, Івано-Франківській та Львівській областях. Площі лохини – у Житомирській, Івано-Франківській, Київській та Львівській. Проте слід зазначити, що за цією культурою в багатьох областях дані не оприлюднюються.

У 2023 році в Україні серед усіх площ під ягідними культурами 41,8% було відведено під такі культури, як суниця та полуниця. Причому 90% площ цих культур припадало на особисті селянські господарства. При урожайності 76,2 ц з гектара валові збори становили 335,4 тис. ц. Найбільш популярними сортами суниці та полуниці в Україні є сорти Клері, Джолі та Мармолада. Також попитом користуються Апіріка, Сібілла, Хоней, Мурано, Квікі, Альба, АLEGRO, Джусі та Клодія (Державна..., Державний..., 2025).

Під насадженнями малини і ожини у 2023 році було зайнято 4,6 тис. га, 3,9 тис. га з яких – в особистих селянських господарствах. Урожайність цих культур становила 73,5 ц з гектара, що на 20,1% більше, ніж у 2013 році. Перспективними сортами малини є Новокиївська, Глен Емпл, Полана, Полка, Брусвяна, Херітейдж, Феномен, Саня, Персея, Глен Файн, Моллінг Джуно, Октавія, Аміра, Регіна, Джоан Джей, Зюгана, Хімбо Топ.

Ожина – менш поширена культура в Україні, проте популярність ожини в Україні зростає, що зумовлює щорічне збільшення пропозиції цієї культури на

ринку. Сортами ожини, що пройшли попередню апробацію в умовах України, є Торнфрі, Смутстем, Блек Саттін, Орегон Торнлесс, Тріпл Кроун, Торнфрі, Смутстем, Блек Саттін, Орегон Торнлесс, Тріпл Кроун (Державний..., 2025).

Україна – друга в Європі і фактично друга держава у світі з виробництва чорної смородини. Станом на минулий рік її виробництво оцінювалося у майже 228,4 тис. ц. Загальна площа насаджень в Україні – 3,5 тис. га (порічки не більше 5%). Близько 75% промислових насаджень смородини закладено сортами української селекції – Голосіївська-2, Аметист, Вернісаж, Верховина, Володимирська, Козацька, Софіївська, Черешнева, Ювілейна Копаня.

Що стосується зарубіжних сортів, то вони поки що не конкурентоздатні порівняно з українськими сортами. Серед тих, які зараз вирощують, можна назвати сорти польської селекції Тібен, Тісель, Рубен, Гоферт і інші (Ставка..., 2025).

На думку представників інституту садівництва, ринок свіжої смородини в Україні більший, ніж у будь-якій іншій європейській країні. І багато урожаю переробляється всередині країни на джеми, соки, наповнювачі. Багато фахівців також вважає, що значного зростання виробництва смородини в Україні можна очікувати після закінчення війни (Ставка..., 2025).

Незважаючи на те, що площі агрусу в Україні за період з 2013 до 2023 року скоротилися понад удвічі і у 2023 році становили 0,4 тис. га, урожайність цієї культури зросла на 18,2% і є найвищою серед усіх ягідних культур – 92,3 ц з гектара. Для свіжого ринку бажані сорти з десертним смаком – Аристократ, Берил, Гранд, Гроссуляр, Десертний, Захисник, Каменяр, Карат, Княжич, Куршу Дзінтарс, Неслуховський, Пам'яті Негруля, Родник, Самурай, Сенатор, Серенада, Сніжана, Чорна крапля, Чорносливовий (Державний..., 2025).

Нішевіми ягідними культурами, які вирощуються в Україні є лохина, обліпіха, чорниця, чорноплідна горобина, шовковиця, жимолость.

Щорічний активний приріст площ під лохиною, який спостерігався до 2024 року, минулого сезону сповільнився. Переважно завершуються проекти, розпочаті раніше, а нові плантації, які закладаються у північно-західних регіонах та на Одещині, вийдуть на плодоношення наступного року. Серед класичних сортів лохини, які підходять для

вирощування в Україні, можна назвати такі: Нельсон, Блюкроп, Ліберті, Аврора, Еліот, Бонус, Патріот (Дайджест..., 2025).

Донедавна обліпіха в Україні була лише природним чагарником, і лише у 2017–2018 рр. з'явився інтерес до вирощування цієї культури у промислових масштабах. Найбільшим попитом ягода користується в азійських країнах – Південній Кореї, Китаї, Японії, Сінгапурі.

В Україні є приблизно 100 га комерційних насаджень обліпіхи. За даними Державної статистичної служби України, обсяги виробництва ягоди в період із 2019 до 2022 р. зросли з 60 до більш ніж 80 т в усіх категоріях господарств. Середня врожайність протягом цих років становила близько 1,3–1,4 т/га. Переважають іноземні сорти Andros, Clara, Cora, Dora, Mara, Eva, Lord, Marija Bruvele, Tatjana. Проте є і сорти вітчизняної селекції – Солодка Жінка, Либідь, Київський Янтар, Адаптивна, Морквяна, Обрій, Особлива, Витвірна, Ласунка, Надійна, Папа та Оранж Революшн (У світі..., 2025).

На території Волинської, Житомирської, Хмельницької, Львівської, Чернігівської та Вінницької областей займаються промисловим вирощуванням чорниці, хоча площі плантацій є невеликими і в сукупності становлять 0,2 тис. га. Для вирощування на території України здебільшого придатні сорти північної високорослої чорниці, а саме: Берклі, Чіппева, Блурей, Патріот, Нортблю, Голдтраубе, Нельсон, Еліот, Бригітта Блу та Дюк (Чорниця..., 2025).

Українські сільгоспвиробники також почали успішно вирощувати чорноплідну горобину. На території України здебільшого трапляються три види – сливовиста, арбуто-слиста і чорноплідна. А культивують у нас лише один вид – аронію чорноплідну.

Ринок жимолості в Україні та у світі тільки формується, але загальні перспективи, висока ціна та відмінні споживчі якості викликають інтерес до вирощування цієї культури. Поки що виробництво жимолості в Україні перебуває на рівні 20–25 тон, при цьому її ринкова вартість становить 5,6–7,6 дол./кг. Серед десертних сортів можна виділити сорти Спокуса та Алісія української селекції. Також досить перспективними є сорти канадської селекції, особливо сорт Aurora, Boreal Blizzard і Boreal Beast (Жимолость..., 2025).

Журавлина має великий потенціал для промислового вирощування в Україні, адже

вона здатна рости на непридатних для вирощування інших культур землях у більшості регіонів країни. Крім того, на неї спостерігається стійкий попит з боку країн Євросоюзу. Проте в Україні досі не створено жодної промислової плантації цієї культури (Дайджест..., 2025).

Україна входить до п'ятірки найбільших постачальників заморожених ягід до ЄС. За підсумками 2023 року показник експорту заморожених фруктів сягнув 87 тис. т. При цьому виручка від їх реалізації на закордонних ринках становила 132 млн дол. Товарна структура експорту даної підгрупи була сформована переважно замороженою малиною (близько 46 тис. т), чорницею (27 тис. т), ожиною і шовковицею (3 тис. т), суницею та полуницею (3 тис. т) (Українська..., 2025).

Основним ринком збуту заморожених ягід та інших плодів українського виробництва є країни Європи, а саме Польща, Німеччина, Італія, Чехія, Австрія, Литва, Бельгія і Франція. Також Україна вперше опинилася серед семи провідних постачальників заморожених фруктів і ягід до Китаю. Практично весь обсяг експорту в цій категорії припадає на поставки замороженої лохини, оскільки Україна досі не має можливості постачати свіжу лохину на китайський ринок.

Що стосується експорту свіжих ягід, то провідні позиції займає лохина, об'єми постачання якої збільшилися. Це, зокрема, зумовлюється зростанням попиту на ягоду в багатьох європейських країнах, серед яких можна виділити Нідерланди, Австрію, Чехію. В цілому у минулому році розподіл експорту лохини мав такий вигляд: Польща – 30%, Нідерланди – 24%, Великобританія – 12%, Німеччина – 12%, Іспанія – 8%. Крім того, були значні поставки до Молдови, куди раніше ягоду практично не постачали. Також експортували і свіжу малину, яка найбільшим попитом користувалась у Польщі (понад 0,3 тис. т) та Нідерландах (0,2 тис. т) (Українська..., 2025).

Висновки

Ягідництво – одна із найперспективніших та найприбутковіших галузей сільського господарства в Україні. Незважаючи на те, що протягом 2013–2023 років відбулось скорочення загальної площі та обсягів виробництва ягід, Україна є провідним гравцем на світовому ринку ягід. Експорт становить близько 20% від загального обсягу виробництва ягід. Однак з кожним роком цей показник зростає. Основними імпорте-

рами української ягідної продукції є країни Європейського Союзу. У структурі експорту переважають заморожені ягоди.

З метою розширення присутності українських виробників ягід на світовому ринку та подальшого розвитку української ягідної

галузі необхідно сприяти розвитку сучасної ринкової інфраструктури та інституцій, спрямованих на забезпечення якості та безпечності продукції та підвищення конкурентоспроможності українських виробників ягід.

Список використаної літератури

Дайджест перспективних ягідних культур: від класики до новинок [Електронний ресурс]. URL: <https://kurkul.com/spetsproekty/504-daydjest-perspektivnih-yagidnih-kultur-vid-klasiki-do-novinok> (дата звернення 15.01.2025).

Державна служба статистики України. Офіційний сайт [Електронний ресурс]. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 16.01.2025).

Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні [Електронний ресурс]. URL: <https://data.gov.ua/dataset/> (дата звернення 18.01.2025).

Жимолость – перспективи вирощування нішевої культури [Електронний ресурс]. URL: <https://kurkul.com/spetsproekty/967> (дата звернення 21.01.2025).

Плодово-ягідна галузь України: стан та перспективи розвитку [Електронний ресурс]. URL: <https://agrohp.com.ua/news/plodovo-yagidna-galuz-ukrajini-stan-ta-perspektivi-rozvitku> (дата звернення 21.01.2025).

Ринок ягідних культур в Україні та світі [Електронний ресурс]. URL: <http://ukrsadprom.org/blog/rynok-yagidnyh-kultur-vukrayini-ta-sviti/> (дата звернення 21.01.2025).

Ставка на чорне: агротехніка смородини та продуктивні сорти для вирощування в Україні [Електронний ресурс]. URL: <https://www.ogorodnik.com/articles/stavka-na-chorne> (дата звернення 22.01.2025).

У світі ростиме ринок обліпихи, в Україні вже зростають комерційні насадження ягоди [Електронний ресурс]. URL: <https://superagronom.com/news/18889> (дата звернення 22.01.2025).

Українська Асоціація аграрного експорту [Електронний ресурс]. URL: <https://uaexport.org/2024/04/01/> (дата звернення 23.01.2025).

Чорниця – одна із найприбутковіших ягід в Україні [Електронний ресурс]. URL: <https://agro-business.com.ua/agrobusiness/item/10549-chornytsia-odna-z-naiprybutkovishykh-iahid-v-ukraini.html> (дата звернення 18.01.2025).

References

Daidzhest perspektyvnykh yahidnykh kultur: vid klasyky do novynok [Digest of promising berry crops: from classics to novelties]. [Electronic resource] URL: <https://kurkul.com/spetsproekty/504-daydjest-perspektivnih-yagidnih-kultur-vid-klasiki-do-novinok> (access date 15.01.2025) [in Ukrainian].

Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. Ofitsiyni sait [State Statistics Service of Ukraine. Official website]. [Electronic resource] URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (access date 16.01.2025) [in Ukrainian].

Derzhavnyi reiestr sortiv roslyn, prydatnykh dlia poshyrennia v Ukraini [State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine]. [Electronic resource] URL: <https://data.gov.ua/dataset/> (access date 18.01.2025) [in Ukrainian].

Zhymolost – perspektyvy vyroshchuvannya nishvoi kultury [Honeysuckle - prospects for growing a niche crop]. [Electronic resource] URL: <https://kurkul.com/spetsproekty/967> (access date 21.01.2025) [in Ukrainian].

Plodovo-yahidna haluz Ukrainy: stan ta perspektyvy rozvytku [Fruit and berry industry of Ukraine: state and prospects of development]. [Electronic resource] URL: <https://agrohp.com.ua/news/plodovo-yagidna-galuz-ukrajini-stan-ta-perspektivi-rozvitku> (access date 21.01.2025) [in Ukrainian].

Rynok yahidnykh kultur v Ukraini ta sviti [The market of berry crops in Ukraine and the world]. [Electronic resource] URL: <http://ukrsadprom.org/blog/rynok-yagidnyh-kultur-vukrayini-ta-sviti/> (access date 21.01.2025) [in Ukrainian].

Stavka na chorne: ahrotekhnika smorodyny ta produktyvni sorty dlia vyroshchuvannya v Ukraini [Betting on black: currant agronomy and productive varieties for growing in Ukraine]. [Electronic

resource] URL: <https://www.ogorodnik.com/articles/stavka-na-chorne> (access date 22.01.2025) [in Ukrainian].

U sviti rostyme rynok oblipykhy, v Ukraini vzhe zrostaiut komertsiini nasadzhennia yahody [Sea buckthorn market will grow in the world, commercial plantations of the berry are already growing in Ukraine]. [Electronic resource] URL: <https://superagronom.com/news/18889> (access date 22.01.2025) [in Ukrainian].

Ukrainska Asotsiatsiia ahrarnoho eksportu [Ukrainian Agrarian Export Association]. [Electronic resource] URL: <https://uaexport.org/2024/04/01> (access date 23.01.2025) [in Ukrainian].

Chornytsia – odna iz naiprybutkovishykh yahid v Ukraini [Blueberries are one of the most profitable berries in Ukraine]. [Electronic resource] URL: business.com.ua/agrobusiness/item/10549-chornytsia-odna-z-naiprybutkovishykh-iahid-v-ukraini.html (access date 18.01.2025) [in Ukrainian].

Отримано: 25.01.2025

Прийнято: 10.02.2025



УДК 551.58; 551.583
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.36>

СЕРЕДНЬОМІСЯЧНІ ТА СЕРЕДНЬОРІЧНІ ТЕМПЕРАТУРИ В КОНТЕКСТІ НЕСПРИЯТЛИВИХ ПОГОДНИХ ЯВИЩ НА ТЕРИТОРІЇ МІСТА ЧЕРНІВЦІ У 1880–1900-ИХ РОКАХ

Д. І. Шкаєва¹

Однією зі стратегічних цілей збалансованого розвитку є подолання кліматичних змін та їх наслідків. Аналіз кліматичних показників минулих століть дає змогу простежити інтенсивність кліматичних змін у межах окремого регіону. Дані про повторюваність небезпечних погодних явищ потрібно враховувати для майбутнього планування розвитку територій, щоб уникнути негативних наслідків у майбутньому. Виявлено, що одними з поширених несприятливих погодних явищ на території міста Чернівці були посухи, приморозки, сильні морози. Проаналізовано середньорічні та середньомісячні температури протягом 1880–1900-их років, мінімальні та максимальні значення температур. Визначено, що середньорічна температура міста Чернівці становила $+7,95^{\circ}\text{C}$. Найхолоднішим місяцем був січень із середньомісячною температурою $-5,25^{\circ}\text{C}$, а найтеплішим – липень $+20^{\circ}\text{C}$. На основі температурних даних було визначено, що в місті Чернівці раніше фіксувалися екстремальні значення температур взимку та влітку. До прикладу, взимку були температури -20°C і нижче, влітку – $+30^{\circ}\text{C}$ і вище. Показники температур у листопаді, січні та березні були нижчими, ніж зараз. Порівняно із сусідніми територіями (м. Львів, м. Тернопіль) екстремальні значення в Чернівцях влітку були вищими, а взимку морози були меншими. Мінімальні значення за двадцять років у м. Львів становили $-22,4^{\circ}\text{C}$; м. Тернопіль $-26,4^{\circ}\text{C}$; м. Чернівці $-25,6^{\circ}\text{C}$. У 1881 році була затяжна зима, адже у березні в усіх трьох містах температури були нижче -11°C .

Здійснено порівняння статистичних даних із письмовими згадками кліматичних подій. Встановлено, що два види даних в більшості випадків збігаються між собою. Задokumentовані у різноманітних історичних джерелах випадки прояву несприятливих погодних явищ частково або повністю збігаються із наявними метеорологічними даними. Приміром, у 1882 та 1892 році зазначалися екстремально високі температури не лише на території м. Чернівці, а й у Тернополі, Львові.

Ключові слова: кліматичні зміни, екстремальні температури, посухи, приморозки, холодні зими.

¹ аспірант кафедри фізичної географії, геоморфології та палеогеографії
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: shkaieva.daryna@chnu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-2113-8602

AVERAGE MONTHLY AND AVERAGE ANNUAL TEMPERATURES IN THE CONTEXT OF ADVERSE WEATHER EVENTS IN THE CITY OF CHERNIVTSI IN THE 1880S–1900S

D. I. Shkaieva

One of the strategic goals of sustainable development is to overcome climate change and its consequences. An analysis of climate indicators of the past centuries makes it possible to trace the intensity of climate change within a particular region. The data on the frequency of hazardous weather events should be taken into account in future planning of territorial development to avoid negative consequences in the future. It was found that some of the most common adverse weather events in the city of Chernivtsi were droughts, frosts, and severe frosts. The article analyses the average annual and average monthly temperatures during the 1880s-1900s, as well as the minimum and maximum temperatures. It was determined that the average annual temperature in Chernivtsi was +7.95 °C. The coldest month was January, with an average monthly temperature of -5.25°C; and the warmest was July, with an average temperature of +20°C. Based on the temperature data, it was determined that the city of Chernivtsi had previously recorded extreme temperatures in winter and summer. For example, temperatures of -20°C and below in winter and +30°C and above in summer. Temperatures in November, January and March were lower than they are now. Compared to neighbouring areas (Lviv, Ternopil), Chernivtsi has higher extreme values in summer and lower frosts in winter. The minimum values for the last twenty years in Lviv were -22.4 °C; in Ternopil -26.4 °C; and Chernivtsi -25.6 °C. In 1881, there was a long winter, as in March temperatures in all three cities were below -11 °C. The article compares statistical data with written references to climate events. It was found that the two types of data coincide in most cases. The cases of adverse weather events documented in various historical sources partially or completely coincide with the available meteorological data. For example, in 1882 and 1892, extremely high temperatures were recorded not only in Chernivtsi, but also in Ternopil and Lviv.

Key words: climate change, extreme temperatures, droughts, frosts, cold winters.

Вступ

З огляду на вплив глобальних кліматичних змін на регіональні особливості природних умов Чернівецької області актуальним залишається дослідження динаміки низки кліматичних показників, основними серед яких є температура, кількість опадів, режим їх випадання. У попередніх роботах опрацьовано документальні дані про яву різних несприятливих гідрометеорологічних явищ Північної Буковини (Шкаєва, 2023), серед яких найбільш повторюваними є повені, посухи, заморозки, екстремальні температури, холодні та ранні зими. Окрім того, попередньо виявлено, що документальні дані про наявність повеней та посух збігаються з інструментальними даними кількості опадів міста Чернівці, що зібрані з австро-угорських щорічників (Jahrbücher, 1883–1902; Шкаєва, 2025). Метою даного дослідження є аналіз температурних показників, а саме середньорічних та середньомісячних температур, а також максимальних та мінімальних температурних значень протягом 1880–1900 рр. Завданням дослідження є порівняння та зведення документальних даних із інструментальними. Дане узагальнення дасть змогу підтвердити

наявність посушливих та жарких, прохолодних періодів влітку, приморозків, ранніх та холодних зим. Також важливим завданням є простеження тенденції змін не лише середньорічних, але й середньомісячних температур упродовж двадцяти років з 1880 по 1900 рік. Зауважуємо, що проаналізувати більш тривалий період температурних показників проблематично через розвиток різноманітних історичних подій у регіоні та відсутність систематичності інформації у щорічниках. Саме тому було обрано часовий проміжок у двадцять років з 1880 до 1900 року.

Матеріал і методи

Оскільки метеорологічні спостереження із використанням різноманітних приладів починають з'являтися в XVIII–XIX століттях, то для реконструкції кліматичних умов світові вчені послуговуються різноманітними матеріалами, а саме (Dena, 2000; Casty et al., 2007; Schmittner, 2019; Burgdorf, 2020):

- письмовими джерелами (щоденники, літописи, історичні записи та згадки про певні кліматичні події (Schilling, 1478; Hibberts & Huhtamaa, 2024);
- палеогеографічними даними (дослідження рослинного та тваринного світу за

допомогою викопних решток (Gibson et al., 2022);

– дослідженнями у галузі дендрохронології (за річними кільцями стовбура дерева визначають зволоженість, температурний режим (Huhtamaa et al., 2020);

– відкладами у водоймах, печерах, що мають залишки органічних речовин;

– льодовиковими кернами (Bazin et al., 2013);

– статистичними даними, якщо вони наявні.

Залежно від виду наявних матеріалів можна виділити кілька методів досліджень в історичній кліматології:

– пошуковий історичний метод (пошук різноманітних історичних джерел);

– метод палеокліматичних реконструкцій (радіовуглецевий, ізотопний аналіз);

– дендрохронологічний метод;

– палінологічний та седиментологічний;

– гляціологічний;

– статистичний (Schmittner, 2019).

Серед перелічених вище методів для первинного аналізу кліматичних подій використано історичний пошуковий метод, що передбачає пошук, опис, порівняння та ранжування за наслідками різноманітних несприятливих погодних умов у минулі століття. Цей метод передбачає дослідження та інтерпретацію історичних згадок, описів, літописів, реєстрів тощо (Brazdil et al., 2018). Для вторинного аналізу несприятливих кліматичних явищ обрано статистичний метод,

щоб опрацювати інструментальні дані міста Чернівці.

Звертаємо увагу на те, що температурні дані збирали та записували о 7:00 годині, о 13:00 годині та о 21:00 годині. Максимальні та мінімальні значення для порівняння двадцятирічного періоду з 1880 до 1900 року взяті з цих трьох показників (табл. 1, 2).

Отже, фактичні значення могли бути вищими. Тобто, якщо за 31 день липня максимальна температура зафіксована о 13:00 годині 9 липня +34,9 °С, то це і буде максимальною температурою за липень, а мінімальною буде температура +12,6 °С, яка була о 21:00 3 липня (див. табл. 1). Ці дані використані в щорічнику для формування стислих таблиць щодо атмосферного тиску, середньої та мінімальної, максимальної температури, кількості опадів, хмарності тощо. Саме з таких таблиць вибрані дані для аналізу та порівняльної характеристики температур міста Чернівці (див. табл. 1, 2).

Результати

Середньорічні температури м. Чернівці у 1880–1900 рр. коливалися від +6,7 °С до +9,1 °С (у середньому +8 °С). Найнижчі значення середньорічної температури були у 1881, 1883 та 1893 роках, найвищі – у 1882 та 1900 роках. За 20-річний період середньорічна температура незначно зросла, проте значення мінімальних та максимальних температур зменшились (рис. 1, 2, 4).

За період з 1880 до 1900 року у задокументованих відомостях зазначається, що

Таблиця 1
Температурні дані липня 1882 року для м. Чернівці (Jahrbücher, 1884)

Дата	Година			Значення за день			Дата	Година			Значення за день		
	7:00	13:00	21:00	Сер.	Макс.	Мін.		7:00	13:00	21:00	Сер.	Макс.	Мін.
1	17,1	24,2	20,1	20,5	24,2	17,1	17	20,3	26,2	20,8	22,4	26,2	20,3
2	17,1	21,2	17,5	18,6	21,2	17,1	18	19,8	26,7	22,9	23,1	26,7	19,8
3	14	17	12,6	14,5	17,0	12,6	19	20,6	24,0	19,0	21,2	24,0	19,0
4	15,7	21,2	16,6	17,8	21,2	15,7	20	20,1	26,4	22,8	23,1	26,4	20,1
5	16	24,2	20,2	20,1	24,2	16,0	21	24,8	28,4	23,4	25,5	28,4	23,4
6	19,5	26,6	21,1	22,4	26,6	19,5	22	22,1	27,6	24,7	24,8	27,6	22,1
7	20	25,7	23,2	23,0	25,7	20,0	23	22,5	30,0	24,7	25,7	30,0	22,5
8	21,2	31	25,8	26,0	31,0	21,2	24	22,6	30,1	26,0	26,2	30,1	22,6
9	25	34,9	23,4	27,8	34,9	23,4	25	24,4	30,9	21,4	25,6	30,9	21,4
10	24,4	34,3	22,8	27,2	34,3	22,8	26	29,6	31,6	25,7	29,0	31,6	25,7
11	17	17,2	14,2	16,1	17,2	14,2	27	27,1	29,7	24,0	26,9	29,7	24,0
12	20,6	23,1	18,4	20,7	23,1	18,4	28	21,6	22,8	20,5	21,6	22,8	20,5
13	20,2	25,4	20,5	22,0	25,4	20,2	29	20,1	27,2	21,1	22,8	27,2	20,1
14	16,8	20,8	18,5	18,7	20,8	16,8	30	23,5	26,0	21,6	23,7	26,0	21,6
15	17	19,2	17	17,7	19,2	17,0	31	24,8	25,2	25,2	25,1	25,2	24,8
16	17,6	23,8	17,6	19,7	23,8	17,6	Сер.	20,7	25,9	21,1	22,6	25,9	19,9

Таблиця 2

Показники температури повітря м. Чернівці щомісяця станом на 1882 рік
(Jahrbücher, 1884)

1882	Температура повітря							
	Години			Середня	Макс.	День	Мін.	День
Місяць	7:00	13:00	21:00					
Січень	-2,4	-0,4	-1,5	-1,4	6,4	11	-10,8	15
Лютий	-2,4	1,5	-0,5	-0,5	10	25	-15	9
Березень	4,7	10,9	7	7,4	17	22	-0,3	2
Квітень	7,1	14,1	10	10,3	22,8	25	-3,4	6
Травень	12,2	17,7	13,5	14,2	27,2	8	5,1	14
Червень	14,8	20,9	16,2	17	28,4	9	10	4
Липень	20,7	25,8	21,1	22,1	34,9	9	12,6	3
Серпень	17	21,9	17,5	18,4	25,6	15	12,7	5
Вересень	12,5	20,1	15	15,6	26,1	7	6,1	26
Жовтень	4,4	8,1	5,6	5,9	13,9	2	-1,2	20
Листопад	1,7	5	2,6	2,9	13,8	8	-7,4	24
Грудень	-3,6	-1,6	-2,9	-2,7	7,2	30	-16,2	4
Середнє	7,2	12,0	8,6	9,1	19,4		-0,7	

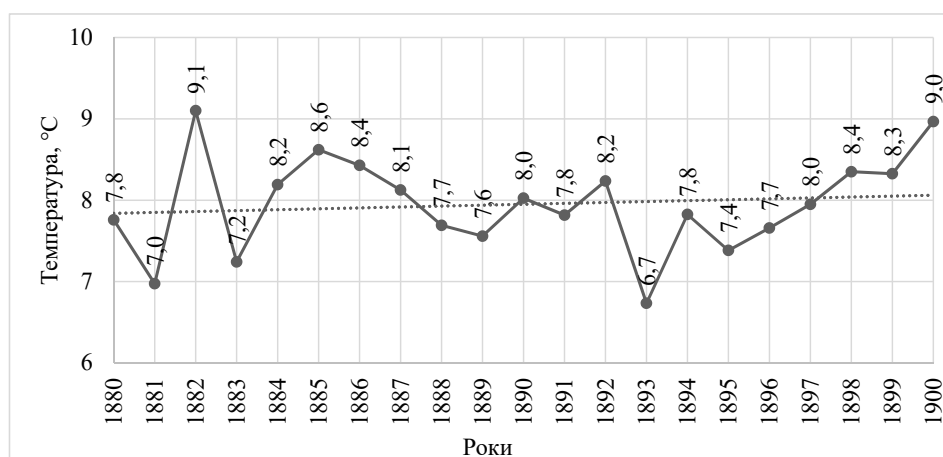


Рис. 1. Динаміка середньорічної температури міста Чернівці, 1880–1900 рр. (Jahrbücher, 1883–1902)

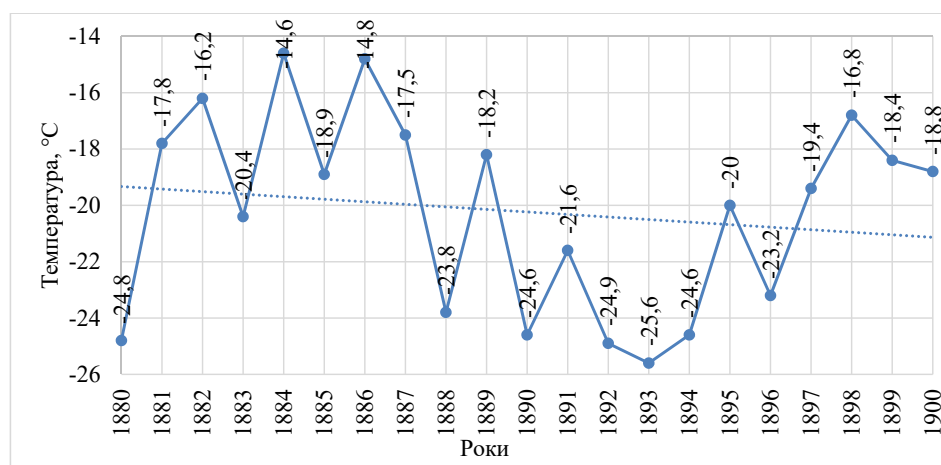


Рис. 2. Динаміка мінімальних температур міста Чернівці, 1880–1900 рр. (Jahrbücher, 1883–1902)

у 1895 та 1898 році були холодні зими із сильними морозами, під час яких від замерзали люди в с. Репужинці та м. Сторожинець. Найсильніші морози в м. Чернівці згідно зі статистичними даними зафіксовано взимку 1880 р., 1892–1894 рр. ($-24,8^{\circ}\text{C}$ 19 лютого; $-24,9^{\circ}\text{C}$ 22 січня; $-25,6^{\circ}\text{C}$ 8 січня та $-24,6^{\circ}\text{C}$ 5 січня), тоді як у 1895 р. мінімальна температура становила -20°C 20 лютого, а в 1898 – $-16,8^{\circ}\text{C}$ 27 січня (рис. 2). Отже, можливо, в у цей період було тепліше, ніж у м. Сторожинець, яке розташоване ближче до гірської системи Покутсько-Буковинських Карпат. З іншого боку, випадки замерзання можуть бути пов'язані не із сильними морозами, а зі соціально-економічним становищем населення. Як холодні описані також зими інших років, окрім досліджуваного двадцятирічного періоду. Зокрема, це такі

роки: 1829 та 1830, 1844 та 1845, 1862, 1870, 1907 (Die Monarchie, 1899; Geschichte der Österreichischen Land, 1901; Wassilko, 1901; Андрієць і Квасецький, 2004).

Середньорічні температури взимку становили: для січня $-5,26^{\circ}\text{C}$, трохи вищі для лютого та грудня – $-3,29$ – $-2,66^{\circ}\text{C}$. Мінімальне значення середньої температури грудня зафіксовано у 1890 році (-9°C), січня – у 1893 році ($-15,3^{\circ}\text{C}$), лютого – у 1888 році ($-7,5^{\circ}\text{C}$). Найтеплішим грудень був у 1886 році із середньомісячною температурою $+2,26^{\circ}\text{C}$; січень – у 1899 році ($-0,4^{\circ}\text{C}$); лютий – у 1900 році ($+2,1^{\circ}\text{C}$) (рис. 3).

Порівняно із 1880–1900 рр. сучасні зими набагато м'якші та мають більше плюсових значень середньомісячних температур (сильні морози стали рідкісним явищем). Середня зимова температура раніше дорів-

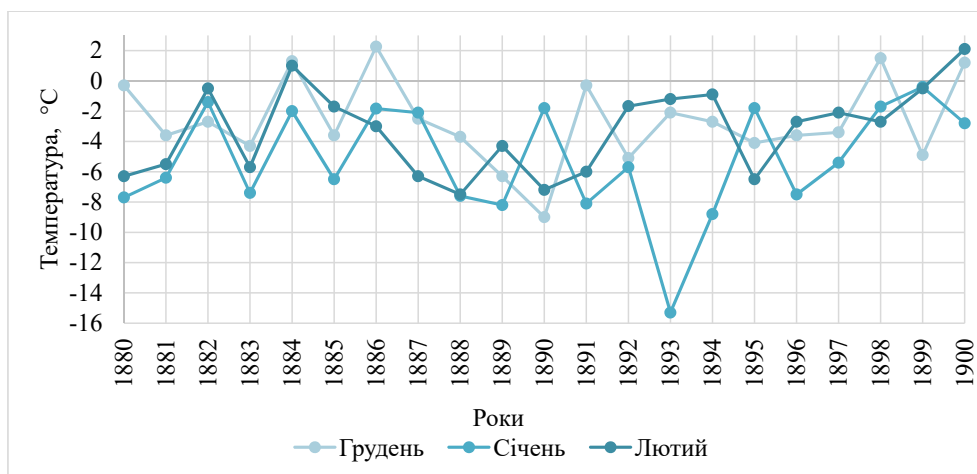


Рис. 3. Динаміка середньомісячних температур зимових місяців у місті Чернівці, 1880–1900 рр. (Jahrbücher, 1883–1902)

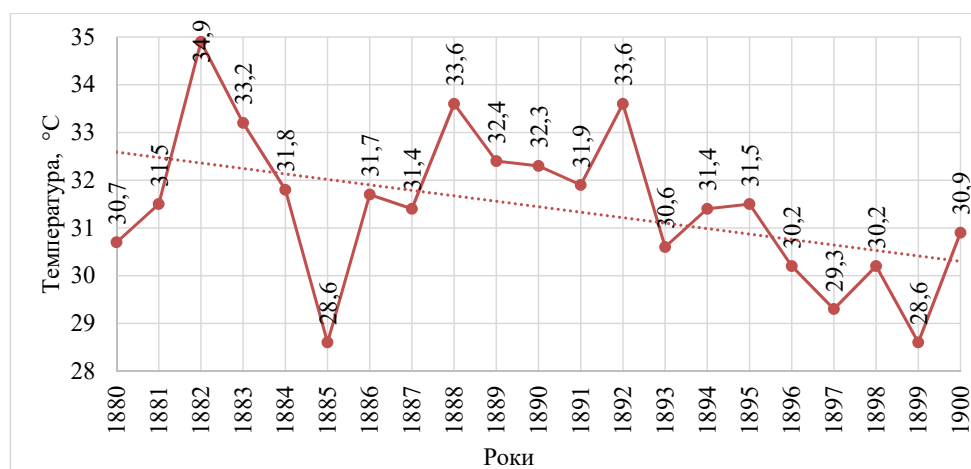


Рис. 4. Динаміка максимальних температур міста Чернівці, 1880–1900 рр. (Jahrbücher, 1883–1902)

нювала $-3,7^{\circ}\text{C}$. Протягом двадцяти років середні температури грудня коливалися від $+2,3^{\circ}\text{C}$ до -9°C ; січня – від $-0,4^{\circ}\text{C}$ до $-15,3^{\circ}\text{C}$; лютого – від $+2,1^{\circ}\text{C}$ до $-7,5^{\circ}\text{C}$ (див. рис. 3).

Посушливими та жаркими роками згідно з архівними даними австро-угорського періоду вважається 1881 та 1882 рік, літо та початок осені 1892 року, а також 1889 та 1898 рік (Die Monarchie, 1899; Андрієць і Квасецький, 2004). Показники кількості опадів підтверджують посушливість (Шкаєва, 2025). Окрім того, за 1882-ий рік зафіксовано найвище середньомісячне значення липневої температури за усі двадцять років ($+22,1^{\circ}\text{C}$) та максимальне значення $+34,9^{\circ}\text{C}$ (9 липня). Також спостерігалися високі середньомісячні показники в червні 1892 року – $+19,7^{\circ}\text{C}$, що на $+2,1^{\circ}\text{C}$ вище за норму, та в серпні 1890-го року – $+21,8^{\circ}\text{C}$, що на $+2,9^{\circ}\text{C}$ вище серпневої норми за досліджувані роки.

Екстремально високі температурні значення, окрім 1882 року, фіксувалися: 15 липня 1883 року – $+33,2^{\circ}\text{C}$; 2 серпня 1888 та 21 серпня 1892 року – $+33,6^{\circ}\text{C}$; 31 серпня 1900 – $+32,3^{\circ}\text{C}$. У 1889 році (зазначений як посушливий) максимальні показники температури спостерігалися 15 червня – $+30,1^{\circ}\text{C}$; 13 липня – $+32,1^{\circ}\text{C}$; 23 серпня – $+32,4^{\circ}\text{C}$. У 1898 році максимальні значення були нижчими (рис. 4).

Найтеплішими з літніх місяців були липень та серпень. Середньомісячна температура серпня становила $+18,9^{\circ}\text{C}$, липня – $+20^{\circ}\text{C}$, червня – $+17,6^{\circ}\text{C}$. Прохолодніше літо, ймовірно, було у 1899, тоді середня температура влітку становила $+17,3^{\circ}\text{C}$, зокрема

червня $+16^{\circ}\text{C}$. За двадцятирічний період середня температура літа становила $+18,8^{\circ}\text{C}$. Впродовж досліджуваного періоду середньомісячні температури червня варіювалися від $+15,8^{\circ}\text{C}$ до $+19,7^{\circ}\text{C}$; липня – від $+18,4^{\circ}\text{C}$ до $+22,1^{\circ}\text{C}$; серпня – від $+16,5^{\circ}\text{C}$ до $+21,8^{\circ}\text{C}$ (рис. 5).

Несприятливим явищем, окрім сильних морозів та жарких посушливих періодів влітку, була також наявність приморозків (особливо в той період, коли були висаджені сільськогосподарські культури) та рання зима. Середня температура весняних місяців становила $+8,1^{\circ}\text{C}$ (березень $+1,3^{\circ}\text{C}$; квітень $+8,4^{\circ}\text{C}$; травень $+14,7^{\circ}\text{C}$), осінніх – $+8,6^{\circ}\text{C}$ (вересень $+14,6^{\circ}\text{C}$; жовтень $+8,9^{\circ}\text{C}$; листопад $+2,2^{\circ}\text{C}$). Найбільш прохолодним був березень. Мінімальні значення зафіксовано в 1890 ($-18,5^{\circ}\text{C}$), 1891 ($-18,3^{\circ}\text{C}$), 1895 ($-13,4^{\circ}\text{C}$), 1898 ($-14,3^{\circ}\text{C}$) році (рис. 6). У квітні мінімальні показники не перевищують значення $-3,4^{\circ}\text{C}$ (1882 рік), а в травні – $+1,4^{\circ}\text{C}$ (1880 рік). За 20 років середні температури березня змінювалися від -3°C до $+7,4^{\circ}\text{C}$; квітня – від $+5,2^{\circ}\text{C}$ до $+12,3^{\circ}\text{C}$; травня – від $+13,2^{\circ}\text{C}$ до $+17,3^{\circ}\text{C}$.

Восени найтеплішим був вересень, а найхолоднішим листопад. Найнижчі показники мінімальних температур були такими: вересень – у 1881 р. – $+0,1^{\circ}\text{C}$, жовтень – у 1890 р. – $-5,3^{\circ}\text{C}$, листопад – у 1892 р. – $-18,4^{\circ}\text{C}$ (рис. 7).

Діапазон середньомісячних температур вересня становив від $+11,6^{\circ}\text{C}$ до $+17,4^{\circ}\text{C}$, жовтня – від $+5,6^{\circ}\text{C}$ до $+12,5^{\circ}\text{C}$, листопада – від $-1,2^{\circ}\text{C}$ до $+4,5^{\circ}\text{C}$. Зими були досить ранніми, про що свідчать від'ємні показники в листопаді. До прикладу: 23 листопада

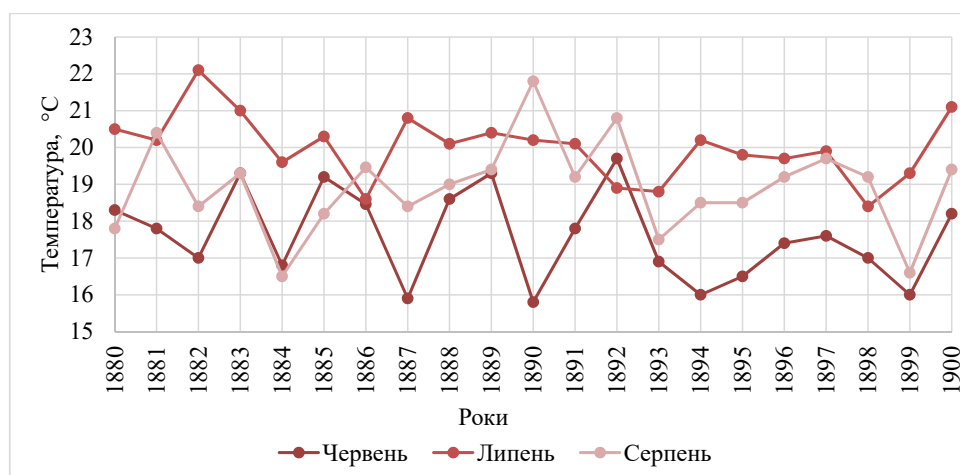


Рис. 5. Динаміка середньомісячних температур літніх місяців у місті Чернівці, 1880–1900 рр. (Jahrbücher, 1883–1902)

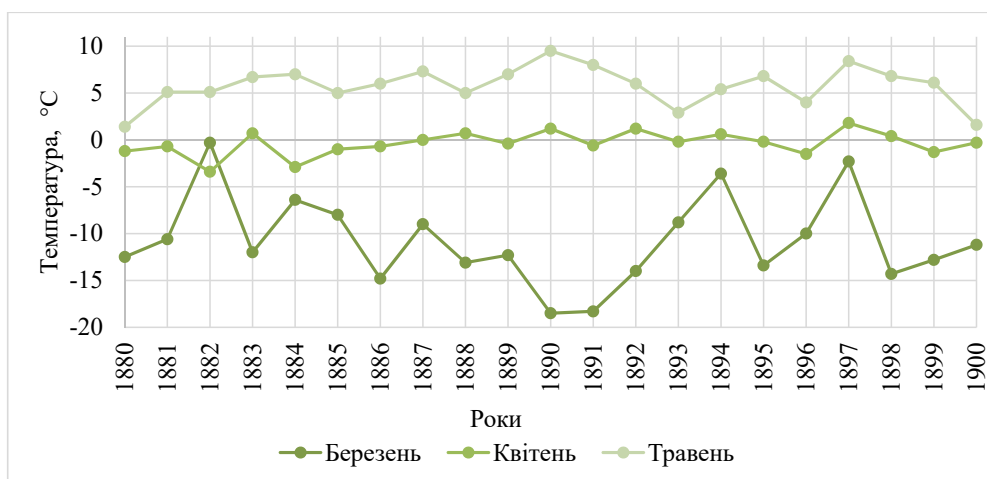


Рис. 6. Динаміка мінімальних температур весняних місяців у місті Чернівці, 1880–1900 рр. (Jahrbücher, 1883–1902)

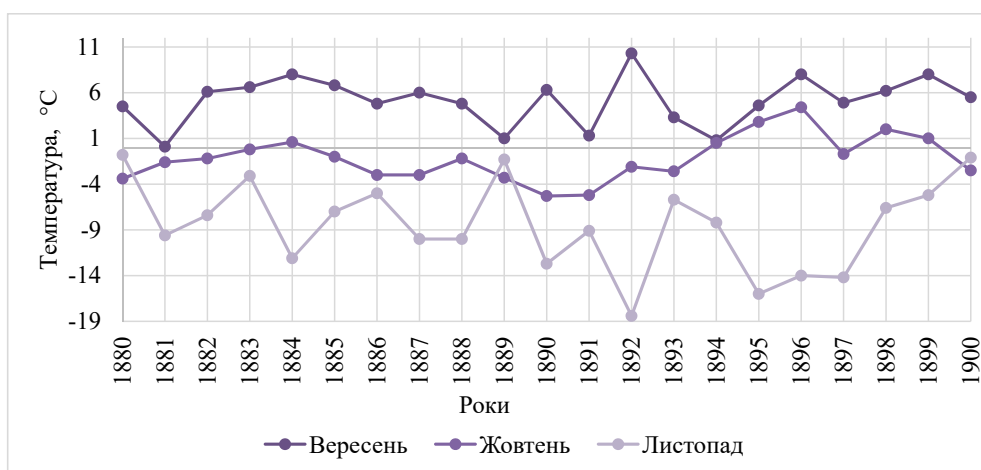


Рис. 7. Динаміка мінімальних температур осінніх місяців у місті Чернівці, 1880–1900 рр. (Jahrbücher, 1883–1902)

1884 року фіксувалась температура $-12,1^{\circ}\text{C}$, 18 листопада 1887 р. та 16 листопада 1888 р. -10°C , 27 листопада 1890 р. $-12,7^{\circ}\text{C}$, 29 листопада 1892 р. $-18,4^{\circ}\text{C}$, 30 листопада 1895 р. -16°C , 27 листопада 1896 р. -14°C , 12 листопада 1897 р. $-14,2^{\circ}\text{C}$. Графіки мінімальних температур вересня та листопада майже пропорційно протилежні, що частково характерно і для графіків березня та травня (див. рис. 6, 7).

Виявлено, що в зазначені вище роки не лише для міста Чернівці фіксувалися екстремальні температури, але й для інших територій, зокрема сусідньої Галичини – м. Львів та м. Тернопіль. Середньорічні та екстремальні температури в цих містах були дещо нижчими, ніж у Чернівцях. Наприклад, у 1882 р. у Львові середньорічна температура становила $+8,5^{\circ}\text{C}$, а в Тернополі $+7,6^{\circ}\text{C}$. Така

тенденція спостерігається й в інші роки. У цьому ж році екстремальні температури досягали, до прикладу, у Львові $+32,6^{\circ}\text{C}$, а у Тернополі $+31^{\circ}\text{C}$.

Температура взимку в Львові в середньому становила $-3,8^{\circ}\text{C}$ (1881 р.). В інші зазначені роки температури були меншими порівняно з Чернівцями. Для міста Тернопіль навпаки: у 1881 р. $-5,7^{\circ}\text{C}$ (у Чернівцях $-5,2^{\circ}\text{C}$), у 1892 р. $-4,7^{\circ}\text{C}$ ($-4,2^{\circ}\text{C}$). Так само весняні температури були вищими в Чернівцях, окрім 1895 та 1898 р. (у Львові $+7,4^{\circ}\text{C}$, у Чернівцях $+6,8^{\circ}\text{C}$ станом на 1895 р.). Дана тенденція простежується також для середніх літніх та осінніх температур.

Що стосується екстремальних температур, то плюсові температури були вищими в Чернівцях (див. табл. 1, 2), а від'ємні мають

нижчі значення в Тернополі, часом у Львові. У 1881, 1892 та 1895 рр. у Тернополі фіксувалися найнижчі температури взимку, які сягали -18,4 °С (23 січня), -26,4 °С (25 січня) та -21,8 °С (18 лютого). У 1882 та 1898 рр. нижчі значення були у Львові – -17 °С та -19,7 °С відповідно.

Екстремальні плюсові температури фіксувалися у всіх трьох містах в більшості випадків з середини липня, інколи максимальні показники спостерігалися ближче до кінця серпня. Натомість мінімальні температури здебільшого були характерні для січня – лютого, деколи для грудня (-16,2 °С 4 грудня 1882 р. в Чернівцях та -17 °С 31 грудня 1895 р. в Львові. У 1898 р. в м. Тернопіль 10 березня температура опустилася до -19,1 °С (див. табл. 3).

З 1880 до 1884 р. максимальна температура, зафіксована у місті Львів, становила +34,2 °С (24 липня 1883 р.). Високі температури були і в 1893 р. – +33 °С (липень), і в 1896 р. – +31,8 °С (1 серпня). За цей же період мінімальне значення було -18 °С 11 січня 1883 р., -22,4 °С 4 січня 1894 р., -20,8 °С 3 грудня 1896 р. Також 9 березня 1900 р. зафіксовано -16,5 °С.

У період з 1890 до 1900 р. у Тернополі максимальні позначки досягали +31,3 °С (також 1 серпня 1896 р.). Зазначимо,

що у 1892 р. 30 травня фіксовано +30,8 °С. Морози в м. Тернопіль були сильнішими. Приміром, у 1880 та 1893 р. мороз був -24 °С (19 лютого та 16 січня), у 1894 р. – -24,5 °С (5 січня), у 1896 р. – -24,9 °С (4 грудня). Ранніми були зими 1881, 1884, 1890, 1892, 1895–1897 рр., коли з листопада спостерігали морози -10 °С – -17 °С. Наприклад, 5 листопада 1881 р. було -16,2 °С.

Обговорення

У звіті МГЕЗК за 2023 рік зазначається, що сучасна температура Землі вища від температур 1850–1900-их років на +1,1 °С і що за останні п'ятдесят років температура зростає швидше, ніж раніше. Глобальне потепління інтенсивніше проявляється над сушею, ніж над водними поверхнями (ІРСС, 2023). Варто зауважити, що цифрові дані змінюються у ході усе детальніших досліджень у даній галузі. Необхідно підкреслити те, що кліматичні зміни мають різний прояв на території різних регіонів. Одними із найбільш вразливих вважають гірські та передгірські території. Саме до таких частково належить територія Чернівецької області (Werners, 2014). Значна кількість досліджень спрямована на порівняння змін кліматичних умов у різні часові проміжки, прогнозування, дослідження можливих наслідків на

Таблиця 3

Середні та екстремальні температури м. Чернівці, м. Львів та м. Тернопіль у роки спостереження несприятливих погодних явищ (Jahrbücher, 1883–1902)

Населений пункт	Середня температура					Температура			
	Річна	Взимку	Навесні	Влітку	Восени	Мах, °С	Дата	Min, °С	Дата
1881									
Чернівці	7,0	-5,2	6,9	19,5	6,7	31,5	17.07.	-17,8	23.01.
Львів	6,7	-3,8	6,1	17,9	6,6	29,9	21.07.	-17,0	16.01.
Тернопіль	5,6	-5,7	5,7	17,0	5,4	28,8	21.07.	-18,4	23.01.
1882									
Чернівці	9,1	-1,5	10,6	19,2	8,1	34,9	09.07.	-16,2	04.12.
Львів	8,5	-1,6	9,8	17,9	7,7	32,6	14.07.	-17,0	09.02.
Тернопіль	7,6	-2,3	8,9	17,3	6,6	31,0	25.07.	-16,0	09.02.
1892									
Чернівці	8,2	-4,2	8,8	19,8	8,5	33,6	21.08.	-24,9	22.01.
Тернопіль	7,1	-4,7	7,2	18,4	7,5	33,2	20.08.	-26,4	25.01.
1895									
Чернівці	7,4	-4,1	6,8	18,3	8,6	31,5	30.07.	-20	20.02.
Львів	7,9	-3,4	7,4	18,5	9,1	30,7	30.07.	-17,0	31.12.
Тернопіль	6,5	-4,8	5,9	17,5	7,5	30,6	30.07.	-21,8	18.02.
1898									
Чернівці	8,4	-1,0	7,5	18,2	8,7	30,2	30.07.	-16,8	27.01.
Львів	8,4	-0,4	7,7	17,2	8,9	30,5	10.08.	-19,7	26.01.
Тернопіль	7,4	-1,7	6,4	17,1	7,9	30,3	10.08.	-19,1	10.03.

різноманітні сфери життєдіяльності населення (Божко, 2013; Польовий та ін., 2017; Пічура та ін., 2022; Федоришина, 2024). Для успішного розвитку громад потрібно проводити регіональні та локальні дослідження. Саме такі детальні праці мають практичний характер. Такими є адаптаційні дослідження, які полягають у пошуку пристосувань до нових умов, адже кліматичні умови на Землі постійно змінювалися. Для кращого розуміння того, які проблеми можуть спіткати той чи інший регіон у майбутньому, варто дослідити зміни кліматичних показників, прояв тих чи інших несприятливих явищ та частоту їх повторення, віднайти успішні варіанти адаптаційних практик до цих же несприятливих явищ у минулому. На основі таких даних варто формувати загальну картину розвитку як екосистем, так і суспільства у них. За правління Австро-Угорської імперії на території Північної Буковини (що займає значну частину Чернівецької області) було запроваджено метеорологічні спостереження, що дає змогу оцінити кліматичні зміни, маючи реальні дані. Водночас труднощі виникають із попередніми часовими відтинками, що спонукає звертатися до письмових джерел, які доповнюють статистичні дані інформацією про конкретні наслідки впливу високих та низьких екстремальних температур, великої кількості опадів чи їх відсутності. Оскільки у попередніх дослідженнях частково висвітлено динаміку кількості опадів (Шкаєва, 2025), то дана робота орієнтована саме за температурні показники. Варто звернути увагу на те, що діапазон для порівняння кліматичних показників не обмежується 1880–1900-ми роками, що спонукає до поглиблення даного дослідження та розширення результатів досліджених даних у майбутньому.

Висновки

Середньорічна температура міста Чернівці становила $+8^{\circ}\text{C}$ у період 1880–1900-их років. Середні значення взимку становили $-3,7^{\circ}\text{C}$, навесні $+8,1^{\circ}\text{C}$, влітку $+18,8^{\circ}\text{C}$, восени $+8,6^{\circ}\text{C}$. Протягом 20 років середньорічна температура зростала. Поширені були екстремальні значення від'ємних температур взимку та плюсових

влітку. Найсильніші морози взимку зафіксовано у січні 1893 р. $-25,6^{\circ}\text{C}$. Найхолоднішим місяцем був січень із середньомісячною температурою $-5,3^{\circ}\text{C}$. Морози у зазначений період були частим явищем, адже мінімальні (екстремальні) температури в січні в середньому за усі роки становлять $-17,8^{\circ}\text{C}$.

Найспекотніше влітку було в липні – середньомісячна температура $+20^{\circ}\text{C}$. Найжаркішим було літо 1882 р., коли в липні зафіксовано $+34,9^{\circ}\text{C}$, тоді середня температура липня була $+22,1^{\circ}\text{C}$. У березні та квітні частими явищами були морози та приморозки. Наприклад, у березні в 1890, 1891, 1895, 1898 рр. морози були -13°C , -18°C і більше. Значно нижчі температури, ніж зараз, фіксувалися в листопаді (у 1892 році мінімальне значення становило $-18,4^{\circ}\text{C}$, середньомісячна температура становила $+2,2^{\circ}\text{C}$).

Подібна ситуація була й на сусідніх територіях. Зокрема, у Тернополі наприкінці травня 1892 року температура була $+30,8^{\circ}\text{C}$, а наприкінці серпня $+33,2^{\circ}\text{C}$. У цей же рік у Львові наприкінці липня зафіксували $+32,6^{\circ}\text{C}$, а наступного року всередині липня $+34,2^{\circ}\text{C}$.

Статистичні дані, зібрані зі щорічників, більшою мірою підтверджують інформацію із письмових джерел про природні несприятливі погодні явища на території міста Чернівці. Відповідно до інструментальних даних екстремальні значення літніх температур фіксувалися у 1881, 1882, 1888, 1889, 1892, 1898 рр. (у ці ж роки у писемних джерелах наведені наслідки посух). У джерелах зими 1895 та 1898 рр. зазначені як холодні. У ці роки спостерігали такі мінімальні температури: -20°C та $-16,8^{\circ}\text{C}$ відповідно.

Згідно з порівнянням температурних даних м. Чернівці, м. Львів та м. Тернопіль визначено, що, ймовірно, ранні зими були у 1881, 1884, 1892, 1895–1897 рр. Приміром, у листопаді цих років відзначалися морози понад -11°C ($-16,2^{\circ}\text{C}$ 5 листопада 1881 р. в Тернополі). Деякі зими, можливо, були більш затяжними, як-от зима 1900 року: 9 березня в м. Тернопіль було $-16,2^{\circ}\text{C}$, в м. Львів $-16,5^{\circ}\text{C}$, в м. Чернівці $-11,2^{\circ}\text{C}$.

Список використаної літератури

Андрієць Ф.С., Квасецький А.Т. Буковина. Загальне краєзнавство / переклад з німецької. Чернівці : Зелена Буковина, 2004. 488 с.

Божко Л.Ю. Оцінка впливу екстремальних явищ на продуктивність сільськогосподарських культур : навчальний посібник. Одеса, 2013. 238 с.

Пічура В.І., Потравка Л.О., Рутта О.В. Просторово-часовий аналіз і прогноз кліматичних змін в зоні Степу України. *Науково-практичний журнал. Серія «Екологічні науки»*. 2022. № 6 (45). С. 110–118.

Польовий А.М., Божко Л.Ю., Адаменко Т.І. Агрометеорологічні прогнози : підручник. Одеса : ТЕС, 2017. 508 с.

Федоришина Л.І. Проблема впливу глобальних змін клімату на розвиток сільськогосподарського виробництва в Україні: історичний екскурс. *Наукові праці Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія «Історія»*. 2024. № 50. С. 60–67.

Шкаєва Д.І. Розподіл опадів у розрізі наймасштабніших повеней та посух XIX століття на території Північної Буковини. *Current scientific goals, approaches and challenges. Collection of scientific papers "SCIENTIA"*. Рига, 2025. С. 338–342.

Шкаєва Д.І. Небезпечні гідрометеорологічні явища та їх вплив на природокористування Північної Буковини у XVIII – початок XX століття. *Науковий вісник Чернівецького університету. Серія «Географія»*. 2023. № 845. С. 120–131.

Bazin L., Landais A., Lemieux-Dudon B., Toyé H., Veres D., Parrenin F., Martinerie P., Ritz C., Capron E., Lipenkov V., Loutre M.-F., Raynaud D., Vinther B., Svensson A., Rasmussen S.O., Severi M., Blunier T., Leuenberger M., Fischer H., Masson-Delmotte V., Chappellaz J., Wolff E. An optimized multi-proxy, multi-site Antarctic ice and gas orbital chronology (AICC2012): 120–800 ka. *Climate of the Past*. 2013. Vol. 9. № 4. P. 1715–1731.

Brazdil R., Kiss A., Luterbacher J., Nash D., Reznickova L. Documentary data and the study of past droughts: a global state of the art. *Climate of the Past*. 2018. Vol. 14. № 12. P. 1915–1960.

Burgdorf A.-M. A preliminary global inventory of historical documentary evidence related to climate since the 14th century. *Past Global Changes Magazine*. 2020. Vol. 28. № 2. P. 58–59.

Casty C., Raible C., Stocker T., Wanner H., Luterbacher J. A European pattern climatology 1766–2000. *Climate Dynamics*. 2007. Vol. 29. № 7. P. 791–805.

Dena F.D. Environmental Archaeology Principles and Practice. New York : Cambridge University Press, 2000. 587 p.

Die öische Monarchie in Wort und Bild. Bukowina. Wien : K. uk Hof-u. Staatsdr., 1899. 532 p.

Geschichte der Österreichischen Land – und Forstwirtschaft und Ihrer Industrien 1848–1898: supplementband. Wien : M. Perles, 1901. 900 p.

Gibson M.E., McCoy J., O'Keefe M.K., Nunez N.B., Warny S., Pound, M.J. Reconstructing terrestrial paleoclimates: A comparison of the Co-existence Approach, Bayesian and probability reconstruction techniques using the UK Neogene. *Paleoceanography and Paleoclimatology*. 2022. Vol. 37. № 2. P. 18.

Hibberts A., Huhtamaa H. Young researchers explore climate histories. *Past Global Changes Magazine*. 2024. Vol. 32. № 1. P. 54.

Huhtamaa H., Helama S., Leijonhufvud L., Charpentier F. Combining the archives of nature and society: Tree rings and tithes. *Past Global Changes Magazine*. 2020. Vol. 28. № 2. P. 50–51.

IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1–34.

Jahrbücher der K.K. Central-Anstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus: officielle publication. Jg. 1882. Bd. 19. Wien : Braumüller, 1884. 326 p.

Jahrbücher der K.K. Central-Anstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus: officielle publication. Jg. 1880–1900. Bd. 17–37. Wien : Braumüller, 1883–1902. 314 p.

Schilling D.Ä. Amtliche Berner Chronik. Bern : Burgerbibliothek, Mss.h.h.I.2. 1478. Bd. 2. 335 p.

Schmittner A. Introduction to Climate Science. Oregon : Oregon State University, 2019. 227 p.

Wassilko N. Bericht des Abgeordneten Nikolai V. Wassilko über seine Thätigkeit im Reichsrath und Landtage in den Jahren 1898 bis inkl 1900: rechenschafts. Czernowitz, 1901. 234 p.

Werners S., Szalai S., Kopataki E., Kondor A., Musco E., Koch H., Zsuffa I., Trombik J., Kuras K., Koeck M., Lakatos M., Peters R., Lambert S. Hlasny T., Adriaenssens V. Future Imperfect. Climate change and adaptation in the Carpathians. GRID-Arendal, 2014. p. 40.

References

Andriiets, F.S., & Kvasetskyi, A.T. (2004). Bukovyna. Zahalne kraieznavstvo: pereklad z nimetskoi [General local history: translation from German]. Chernivtsi : Zelena Bukovyna [in Ukrainian].

- Bozhko, L.Iu. (2013). Otsinka vplyvu ekstremalnykh yavlyshch na produktyvnist silskohospodarskykh kultur: navchalnyi posibnyk [Assessment of the impact of extreme events on crop productivity: study guide]. Odesa [in Ukrainian].
- Pichura, V.I., Potravka, L.O., & Rutta, O.V. (2022). Prostorovo-chasovyi analiz i prohnoz klimatychnykh zmin v zoni stepu Ukrainy [Spatial and temporal analysis and forecast of climate change in the steppe zone of Ukraine]. *Naukovo-praktychnyi zhurnal. Ekologichni nauky* [Scientific and practical journal. Ecological sciences], 6 (45), 110–118. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.18> [in Ukrainian].
- Polovyi, A.M., Bozhko, L.Iu., & Adamenko, T.I. (2017). Ahrometeorologichni prohnozy: pidruchnyk [Agrometeorological forecasts: textbook]. Odesa : TES [in Ukrainian].
- Fedoryshyna, L.I. (2024). Problema vplyvu hlobalnykh zmin klimatu na rozvytok silskohospodarskoho vyrobnytstva v Ukraini: istorychnyi ekskurs [The problem of the impact of global climate change on the development of agricultural production in Ukraine: a historical overview]. *Naukovi pratsi Vinnytskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Mykhaila Kotsiubynskoho. Seriya Istoriia* [Scientific works of Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University. Series History], 50, 60–67. <https://doi.org/10.31652/2411-2143-2024-50-60-67> [in Ukrainian].
- Shkaieva, D.I. (2025). Rozpodil opadiv u rozrizi naimasshtabnishykh povenei ta posukh XIX stolittia na terytorii Pivnichnoi Bukovyny [Distribution of precipitation in the context of the largest floods and droughts of the XIX century in Northern Bukovina]. *Current scientific goals, approaches and challenges. Collection of scientific papers "SCIENTIA"*. Riga, pp. 338–342 [in Ukrainian].
- Shkaieva, D.I. (2023). Nebezpechni hidrometeorologichni yavlyshcha ta yikh vplyv na pryrodokorystuvannia Pivnichnoi Bukovyny u XVIII – pochatok XX stolittia [Hazardous hydrometeorological phenomena and their impact on the use of natural resources in Northern Bukovina in the eighteenth and early twentieth centuries]. *Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu: Heohrafiia* [Scientific Bulletin of Chernivtsi University: Geography], 845, 120–131. <https://doi.org/10.31861/geo.2023.845.120-131> [in Ukrainian].
- Bazin, L., Landais, A., Lemieux-Dudon, B., Toye, H., Veres, D., Parrenin, F., Martinerie, P., Ritz, C., Capron, E., Lipenkov, V., Loutre, M.-F., Raynaud, D., Vinther, B., Svensson, A., Rasmussen, S., Severi, M., Blunier, T., Leuenberger, M., Fischer, H., Masson-Delmotte, V., Chappellaz, J., & Wolff, E. (2013). An optimized multi-proxy, multi-site Antarctic ice and gas orbital chronology (AICC2012): 120–800 ka. *Climate of the Past*, 9 (4), 1715–1731. <https://doi.org/10.5194/cp-9-1715-2013> [in English].
- Brazdil, R., Kiss, A., Luterbacher, J., Nash, D.J., & Reznickova, L. (2018). Documentary data and the study of past droughts: a global state of the art. *Climate of the Past*, 14 (12), 1915–1960. <https://doi.org/10.5194/cp-14-1915-2018> [in English].
- Burgdorf, A.-M. (2020). A preliminary global inventory of historical documentary evidence related to climate since the 14th century. *Past Global Changes Magazine*, 28 (2), 58–59. <https://doi.org/10.22498/pages.28.2.58> [in English].
- Casty, C., Raible, C., Stocker T., Wanner H., Luterbacher, J. (2007). A European pattern climatology 1766–2000. *Climate Dynamics*, 29 (7), 791–805. <https://doi.org/10.25921/57r4-t967> [in English].
- Dena, F.D. (2000). Environmental Archaeology Principles and Practice. New York: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511607837.011> [in English].
- Die österreichisch-ungarische Monarchie in Wort und Bild. Bukowina (1899). Wien : K. uk Hof-u. Staatsdr [in German].
- Geschichte der Österreichischen Land – und Forstwirtschaft und Ihrer Industrien 1848–1898: supplementband (1901). Wien : M. Perles [in German].
- Gibson, M.E., McCoy, J., O’Keefe, M.K., Nunez, N.B., Warny, S., & Pound, M.J. (2022). Reconstructing terrestrial paleoclimates: A comparison of the Co-existence Approach, Bayesian and probability reconstruction techniques using the UK Neogene. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 37 (2), 18. <https://doi.org/10.1029/2021PA004358> [in English].
- Hibberts, A., & Huhtamaa, H. (2024). Young researchers explore climate histories, *Past Global Changes Magazine*, 32 (1), 54. <https://doi.org/10.22498/pages.32.1.54> [in English].
- Huhtamaa, H., Helama, S., Leijonhufvud, L., & Charpentier, F. (2020) Combining the archives of nature and society: Tree rings and tithes, *Past Global Changes Magazine*, 28 (2), 50–51. <https://doi.org/10.22498/pages.28.2.50> [in English].

IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 1–34. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001> [in English].

Jahrbücher der K.K. Central-Anstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus: officielle publication (1884). Jg. 1882. Wien: Braumüller [in German].

Jahrbücher der K.K. Central-Anstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus: officielle publication (1883–1902). Jg. 1880–1900. Wien: Braumüller [in German].

Schilling, D.Ä. (1478). Amtliche Berner Chronik. Bern: Burgerbibliothek. <http://dx.doi.org/10.5076/e-codices-bbb-0003> [in German].

Schmittner, A. (2019). Introduction to Climate Science. Oregon: Oregon State University [in English].

Wassilko, N. (1901). Bericht des Abgeordneten Nikolai V. Wassilko über seine Thätigkeit im Reichsrath und Landtage in den Jahren 1898 bis inkl 1900: rechenschafts. Czernowitz [in German].

Werners, S., Szalai, S., Kopataki, E., Kondor, A., Musco, E., Koch, H., Zsuffa, I., Trombik, J., Kuras, K., Koeck, M., Lakatos, M., Peters, R., Lambert, S., Hlasny, T., & Adriaenssens, V. (2014). Future Imperfect. Climate change and adaptation in the Carpathians. GRID-Arendal, p. 40 [in English].

Отримано: 21.01.2025

Прийнято: 14.02.2025



ХІМІЧНІ НАУКИ

УДК 541.124; 541.127; 547.21; 537.56; 544.144.7; 546.226-325; 546.98
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.37>

ГОМО- І ГЕТЕРОЛІТИЧНІ МЕХАНІЗМИ В РЕАКЦІЯХ НОРМАЛЬНИХ АЛКАНІВ У ПРИСУТНОСТІ ПАЛАДІЮ (II)

А. К. Волкова¹, А. І. Опейда²

Нормальні алкани (*n*-AlkH) використовуються здебільшого як невідновлюване викопне паливо через їх інертність, яка перешикоджає хімічному перетворенню в продукти з високою доданою вартістю. Шляхом до таких продуктів є оксидативна функціоналізація по насиченому зв'язку C–H, отже, її механізми стають предметом численних досліджень. Функціоналізація найінертнішого з алканів, метану CH₄, основної складової природного газу і нафти, за м'яких умов, т до 200 °C і нормального тиску, залишається викликом для хіміків, а комерційна технологія селективної функціоналізації – бажаною метою.

Ця робота присвячена вивченню і порівнянню механізмів реакцій *n*-AlkH від CH₄ до декану C₁₀H₂₂, ряд C₁–C₁₀, у газовій фазі з гідроксильним радикалом OH• та від етану C₂H₆ до C₁₀H₂₂, C₂–C₁₀, у сірчанокислих розчинах паладію (II) з використанням кореляційного аналізу, в якому кінетичні дані зіставлені з потенціалами іонізації алканів і енергією зв'язків C–H та квантово-хімічно розрахованими термохімічними характеристиками лімітуючих стадій.

На відміну від реакцій алканів з OH•, для яких в усьому ряді C₁–C₁₀ основним є відрив атома H від C–H, у розчині Pd²⁺ – 94,9% H₂SO₄ за 90 °C перетворення C₂–C₁₀ можуть йти за різними механізмами для C₂H₆ і решти алканів C₃ – C₁₀. Для C₃–C₁₀ реакція починається з відриву електрона від AlkH комплексом PdHSO₄⁺, продовжується переносом протона H⁺ від катіона AlkH⁺ на бісульфатний аніон HSO₄[–] з подальшим відривом електрона від алкільного радикала Alk•, що утворюється, і появою алкільного карбокатиона Alk⁺. Етильний карбокатион C₂H₅⁺ утворюється за іншим механізмом, який розпочинається з відриву паладієм (II) атома H від етану і продовжується подальшим відривом іоном Pd²⁺ електрона від утвореного радикала C₂H₅•.

Розраховані напівемпіричним методом PM7 величини ентальпії реакцій C₆H₁₄ у системі з Pd²⁺ свідчать про найвищу термохімічну вигідність трьох відривів: електрона, протона, електрона, запропонованих для C₃–C₁₀.

Ключові слова: алкани, паладій(II), радикал OH•, механізм, кореляційний аналіз, метод PM7.

¹ кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник відділу хімії вугілля
(Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. А. М. Литвиненка НАН України, м. Київ)
e-mail: volkovalk@gmail.com
ORCID: 0000-0002-3259-4734

² кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник відділу спектроскопічних досліджень,
(Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. А. М. Литвиненка НАН України, м. Київ)
e-mail: li.opeida@gmail.com
ORCID: 0000-0001-8604-6955

HOMO- AND HETEROLYTIC MECHANISMS IN THE REACTIONS OF NORMAL ALKANES IN THE PRESENCE OF PALLADIUM (II)

L. K. Volkova, L. I. Opeida

Normal alkanes (*n*-AlkH) are used mainly as non-renewable fossil fuels due to their inertness, which prevents chemical conversion into high value-added products. The path to such products is oxidative functionalization along the saturated C–H bond, so its mechanisms become the subject of numerous studies. Functionalization of the most inert of methane alkanes CH₄, the main constituent of natural gas and oil, under mild conditions of $-t$ up to 200 °C and normal pressure, remains a challenge for chemists today, a commercially viable selective functionalization technology is not an achievable goal.

This work is devoted to the study and comparison of the mechanisms of *n*-AlkH reactions from CH₄ to decane C₁₀H₂₂, series C₁–C₁₀, in the gas phase with the hydroxyl radical OH•, and from ethane C₂H₆ to C₁₀H₂₂, C₂–C₁₀, in palladium (II) sulfuric acid solutions through correlation analysis, in which kinetic data are compared with the ionization potentials of alkanes and the bond energy C–H and quantum-chemical calculated thermochemistry of possible limiting reactions.

In contrast to the reaction of alkanes with OH•, for which a homolytic abstraction of the H atom from C–H occurs in the entire C₁–C₁₀ series, in the solution of Pd²⁺ – 94.9% H₂SO₄ at 90 °C, the transformations of C₂–C₁₀ turned out to be different in mechanisms for C₂H₆ and the rest from propane C₃H₈ to C₁₀H₂₂. For C₃–C₁₀ the reaction begins with the abstraction of an electron from AlkH by the PdHSO₄⁺ complex, continues with the transfer of the proton H⁺ from the cation *n*-AlkH⁺ to the HSO₄[–] bisulfate anion, followed by the abstraction of the electron from the formed alkyl radical Alk• and the appearance of the alkyl carbocation Alk⁺. The ethyl carbocation C₂H₅⁺ is formed by another mechanism, which begins with the abstraction of the H atom from ethane by palladium (II) and continues with the subsequent abstraction of the Pd²⁺ electron ion from the formed C₂H₅• radical.

The enthalpy values of the hexane C₆H₁₄ reactions calculated by the semi-empirical PM7 method in a system with Pd²⁺ indicate the highest thermochemical profitability of three abstraction reactions: electron, proton, electron, proposed for C₃–C₁₀.

Key words: alkanes, palladium (II), OH• radical, mechanism, correlation analysis, PM7 method.

Вступ

Природний газ і нафту, дешеві джерела практично важливих алканів, найбільшим компонентом яких є метан CH₄, використовують переважно як невідновлюване викопне паливо. Через хімічну інертність алканів (найвища у CH₄) їх перетворення в цінні хімічні речовини потребує великих витрат енергії та ефективних каталізаторів (Crabtree, 2010; Gunsalus et al., 2017, 2020). Пряме отримання з алканів, насамперед CH₄, продуктів із високою доданою вартістю все ще залишається грандіозним викликом – Grand Challenges – у хімії (King et al., 2018, 2019; Корпакі et al., 2020; Dalton et al., 2021). Шляхом до таких продуктів є оксидативна функціоналізація зв'язку C–H, яка затребувана в сучасній хімічній технології і залишається предметом численних досліджень (Shilov & Shul'pin, 1997; Labinger, 2012; He et al., 2017; Pombeiro & Guedes da Silva, 2019; Krämer et al., 2023; Na et al., 2023). Розробка нових каталізаторів для м'якої ($t < 200$ °C, нормальний тиск) функціоналізації зв'язку C–H алканів або інших шляхів (Hartwig, 2016; Niu et al., 2020) потребує аналізу фундаментальних

знань, отриманих в експериментальних і теоретичних дослідженнях у цій сфері.

Важливі результати щодо встановлення механізмів функціоналізації метану отримано в роботах Періана і співавт. (Periana et al., 2004; Gunsalus et al., 2017). Показано, що CH₄ активується в сірчанокислих (85% ≤ [H₂SO₄] ≤ 100%) розчинах комплексами металів (М) платини (II), паладію (II) і ртуті (II) за 180–250 °C. Взаємодія зв'язку C–H метану з двох координаційним центром М через електрофільне заміщення і нуклеофільну атаку частинками сірчаної кислоти сприяє відщепленню протона H⁺ і появі інтермедіата [CH₃MHSO₄], гетероліз якого по зв'язку [CH₃–М]⁺ веде до продукту метил бісульфату CH₃OSO₃H.

Іони Pd²⁺, що мають у таких розчинах ліганди, два аніони бісульфата та одну або дві молекули сірчаної кислоти, проявляють особливі властивості, які відрізняють їх від інших перехідних металів: за ~200 °C у присутності O₂ перетворення 2CH₄ → CH₃COOH не потребує додавання CO і починається з утворення комплексу Pd(HSO₄)(CH₃)(H₂SO₄)₂ (Zerella et al., 2006; Chempath & Bell, 2006); а за 90 °C лише під дією Pd²⁺ циклогексан

перетворюється в бензол і далі в кінцевий продукт – бензол сульфокислоту (Volkova, Oreida, 2023; Волкова та ін., 2024).

Незважаючи на значні досягнення в дослідженнях активації С–Н, «комерційно життєздатний великомасштабний процес селективної функціоналізації метану залишається недосяжною метою», священним Граалем в хімії – Holy Grails in Chemistry (Goldberg & Goldman, 2017).

Для встановлення механізму елементарних реакцій алканів у сірчаноокислих розчинах сильних окисників і електрофілів використано два підходи: кореляційний аналіз, у якому зіставлені кінетичні результати з електронними (потенціалами іонізації) і термодинамічними (енергією С–Н) характеристиками алканів; і квантово-хімічні розрахунки термодинаміки швидкості визначальних реакцій. Такі підходи перевірені для реакцій алканів у розчинах мангану (III) і паладію (II) (Волкова і Опейда, 2021, 2024; Волкова та ін., 2022; Volkova & Oreida, 2023) свідчать про різні механізми переходу атомів Н та електронів, що визначають загальну швидкість і селективність процесу у двох системах.

Метою дослідження є вивчення природи швидкості визначальних (лімітуючих) реакцій відриву електрона та гомолізу С–Н в окисненні за 90 °С нормальних алканів ряду C_2 – C_{10} у розчинах Pd^{2+} – 94,9% H_2SO_4 : 1) на прикладі модельної газозафазної реакції алканів з гідроксильним радикалом $OH^\bullet$, яка відбувається за механізмом гомолізу С–Н; 2) через порівняння двох систем $OH^\bullet$ – газова фаза та Pd^{2+} – H_2SO_4 з використанням кореляційного аналізу залежності між кінетичними даними і характеристиками n -алканів: потенціалами іонізації молекули та алкільного радикала, що утворюється за гомолізу зв'язку С–Н; кількістю вторинних С–Н, їх енергією та енергією С–Н для катіонів, що утворюються в разі відриву електрона від алкана; 3) квантово-хімічним методом PM7 через оцінку зміни ентальпії для реакцій n -гексану в системі Pd^{2+} – H_2SO_4 .

Матеріал і методи

Структура нормальних алканів і характеристика їх зв'язків. Нормальні алкани (n -алкани, $n-AlkH$, $n-C_nH_{2n+2}$), складові насичених вуглеводнів ($AlkH$), з лінійним ланцюгом С-атомів, сполучених між собою та з Н-атомами насиченими зв'язками, утвореними sp^3 електронами (e^-) С-атомів, C_{sp^3} – C_{sp^3} , далі як С–С, або електронами sp^3 С-атома та s Н-атомів, C_{sp^3} – H_s , далі як С–Н. У метані зв'язки С–Н, утворені електро-

нами sp^3 С-атома та s Н-атомів, найбільш інертні серед $AlkH$. Ланцюг $n-C_nH_{2n+2}$ у гомологічному ряді $n = 1 \div 10$ зростає на одну групу CH_2 , що веде до додавання С–С зв'язків і зміни реакційної здатності С–Н. Тип зв'язку C_i –Н визначається кількістю зв'язків C_i з іншими атомами С (n_{Ci-C}); для метану $n_{Ci-C} = 0$. Прийнято такі назви типів C_i –Н для n -алканів: первинні ($i = перв-, prim-, p-$) C_{prim} –Н чи C_p –Н, $n_{Ci-C} = 1$, в C_2H_6 і в решті C_3 – C_{10} алканів 6 зв'язків (C_{prim} –Н); вторинні ($i = втор-, sec-, s-$) C_{sec} –Н, C_s –Н, $n_{Ci-C} = 2$, в ряду C_3 – C_{10} алкани мають $(2n - 4)$ зв'язків C_{sec} –Н. В *ізо*-алканах з розгалуженим ланцюгом атомів С додатково до C_{prim} –Н і C_{sec} –Н є ще третинні зв'язки ($i = трет-, tert-, t$) C_{tert} –Н, $n_{Ci-C} = 3$.

Метод кореляційного аналізу та характеристики n -алканів. Ефективним у фізико-органічній хімії для аналізу механізмів реакцій є кореляційний аналіз (Anslyn & Dougherty, 2006), де зіставляються характеристики хімічних частинок із кінетичними чи термодинамічними характеристиками їх перетворень.

Для реакцій n -алканів у розчині Pd^{2+} – H_2SO_4 методом кореляційного аналізу відносних констант швидкості k_{rel} від характеристик n -алканів (X_{n-AlkH}) (табл. 1) досліджено вірогідність механізмів відриву електрона (ET, electron transfer mechanism), гомолізу С–Н (HAT, H-atom transfer mechanism) та пов'язаного з протоном відриву електрона (PCET, proton-coupled electron transfer) (Crabtree, 1995). Для характеристики n -алканів використано:

1) кількість зв'язків C_i –Н: у метані – $n_{CH_4} = 4$; для решти n -алканів C_2 – C_{10} – n_{prim} , n_{sec} відповідно до C_{prim} –Н і C_{sec} –Н та $n_{all} = n_{prim} + n_{sec}$ – загальне число C_i –Н, яке дорівнює $2n + 2$ для C_nH_{2n+2} ; n_{sec} / n_{all} – частка зв'язків C_{sec} –Н від n_{all} ;

2) потенціали іонізації (I , еВ) алканів C_1 – C_{10} (I_{n-AlkH}) і радикалів $Alk^\bullet$ ряду C_1 – C_7 , утворених за гомолізу C_{sec} –Н ($I_{s-Alk^\bullet}$), C_{prim} –Н ($I_{p-Alk^\bullet}$) та С–Н метану (I_{CH_3}) (NIST Chemistry WebBook). У табл. 1 наведено величини I_{n-AlkH} та $I_{s-Alk^\bullet}$ для $s-C_3H_7^\bullet$ – $s-C_7H_{15}^\bullet$, які від 0,5 до 0,8 еВ нижчі за $I_{p-Alk^\bullet}$ для $p-C_3H_7^\bullet$ – $p-C_7H_{15}^\bullet$, що дорівнюють 8,2 для $p-C_3H_7^\bullet$, $p-C_4H_9^\bullet$ та 7,9 еВ для $p-C_5H_{11}^\bullet$, $p-C_6H_{13}^\bullet$, $p-C_7H_{15}^\bullet$;

3) енергії гомолітичної дисоціації (D_{Ci-H} , ккал/моль) зв'язків C_{sec} –Н, D_{Cs-H} , C_{prim} –Н, D_{Cp-H} , у алканах C_2 – C_{10} та С–Н у метані, D_{C-H} (Yu-Ran Luo, 2007).

Для оцінки відсутніх експериментальних даних для енергії гомолітичної дисоціації

ації зв'язків С–Н у катіонах $n\text{-AlkH}^+$, $D_{(n\text{-AlkH}^+)}$, утворених за відриву e^- від $n\text{-AlkH}$, використано формулу:

$$D_{(Alk-H^+)} = D_{AlkH} - (I_{AlkH} - I_{Alk}) \times 23,06, \quad (1)$$

запропоновану в (Yu-Ran Luo, 2007), за якою розраховано величини гомолізу зв'язків: С–Н для CH_4^+ , $D_{(\text{CH}_4^+)}$, $(\text{C}_{\text{prim}}-\text{H})$ і $(\text{C}_{\text{sec}}-\text{H})$ для C_2H_6^+ – $\text{C}_7\text{H}_{16}^+$, $D_{(p\text{-AlkH}^+)}$ і $D_{(s\text{-AlkH}^+)}$ відповідно, кількості яких обмежена відомими величинами I_{Alk} .

У табл. 1 наведено розраховані величини $D_{(i\text{-AlkH}^+)}$ для CH_4^+ , $\text{C}_{\text{prim}}-\text{H}$ у C_2H_6^+ , $\text{C}_{\text{sec}}-\text{H}$ у ряді C_3H_8^+ – $\text{C}_7\text{H}_{16}^+$. Для останнього – величини $D_{(s\text{-AlkH}^+)}$ від 12 до 21 ккал/моль нижчі за $D_{(p\text{-AlkH}^+)}$ по зв'язку $\text{C}_{\text{prim}}-\text{H}$. Зміна $D_{(s\text{-AlkH}^+)}$ в ряду C_1 – C_7 відрізняється від зміни інших $X_{n\text{-AlkH}}$. Якщо величини $I_{n\text{-AlkH}}$, $I_{n\text{-Alk}}$, $D_{\text{Ci-H}}$ поступово зменшуються, то $D_{(s\text{-AlkH}^+)}$ спочатку зменшуються у 2,2 раза від C_1 до C_3 , а потім від C_3 до C_7 збільшуються в 1,8 раза (див. табл. 1).

Співвідношення між величинами характеристик n -алканів. У випадку гомолізу C_i-H , механізму НАТ, основним фактором, що впливає на швидкість реакцій C_1 – C_{10} , є $D_{\text{Ci-H}}$ та кількість C_i-H (n_i). Для CH_4 і C_2H_6 з найбільшою $D_{\text{Ci-H}}$ швидкість НАТ буде значно нижчою, ніж для C_3H_8 і решти n -алканів. Отже, у ряді C_3H_8 – $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$ внеском $\text{C}_{\text{prim}}-\text{H}$ у гомоліз можна нехтувати і за варіації $D_{\text{Cs-H}}$ від 98 до 99 ккал/моль (див. табл. 1) швидкість реакції переважно визначатиметься кількістю $\text{C}_{\text{sec}}-\text{H}$ (n_{sec}), яка була вибрана як характеристика $X_{n\text{-AlkH}}$.

У випадку відриву e^- , механізму ЕТ, швидкість реакції пов'язана з величиною I_{AlkH} , що, як і $D_{\text{Ci-H}}$, є значно вищою для метану й етану, ніж для пропану та решти алканів. Для C_3 – C_{10} з високою величиною коефіцієнта детермінації R^2 виконується лінійна залежність I від логарифма n_{sec} :

$$I_{n\text{-AlkH}} = -1,46 \times \lg(n_{\text{sec}}) + 11,4, R^2 = 0,997, \quad (2)$$

що робить неоднозначним висновок на користь гомолізу (k_{rel} від n_{sec}), або відриву e^- ($\lg k_{\text{rel}}$ від $I_{n\text{-AlkH}}$), спираючись лише на ці дві кореляції. Використання I та n_{sec} для встановлення природи лімітуючої стадії – відрив e^- чи гомоліз С–Н – є найбільш достовірним в аналізі всього ряду C_2 – C_{10} .

Між величинами $n_{\text{sec}} / n_{\text{all}}$, які зростають від 0 в етані до 0,73 у декані, та I лінійна кореляція виконується:

$$I_{n\text{-AlkH}} = -2,60 \times (n_{\text{sec}} / n_{\text{all}}) + 11,56, R^2 = 0,997 \quad (3)$$

з високою точністю, що дорівнює точності залежності (2).

Лінійні кореляції $I_{n\text{-Alk}}$ від $I_{n\text{-AlkH}}$ у доступному ряді C_1 – C_7 (див. табл. 1) виконуються з низькою точністю, $R^2 = 0,856$ і $0,916$, за використання для ряду C_3 – C_7 величин $I_{p\text{-Alk}}$ і $I_{s\text{-Alk}}$ відповідно. Лінійні залежності $D_{(n\text{-AlkH}^+)}$ від $D_{n\text{-AlkH}}$ для C_1 – C_7 практично відсутні, $R^2 \leq 0,3$.

Відсутність строгих лінійних кореляцій між $I_{n\text{-Alk}}$, $I_{n\text{-AlkH}}$, $D_{n\text{-AlkH}}$ і $D_{n\text{-AlkH}^+}$ робить можливим використання цих $X_{n\text{-AlkH}}$ у кореляційному аналізі для встановлення складних

Таблиця 1

Величини констант швидкості k_{rel} і парціальних $(i\text{-}k_{\text{H}})_{\text{rel}}$ для реакцій $n\text{-AlkH}$ у розчинах Pd^{2+} – 94,9 % H_2SO_4 за 90 °С та з радикалом $\text{OH}^\bullet$ у газі за 25 °С.

Величини $X_{n\text{-AlkH}}$: n_{sec} ; I_{AlkH} та $I_{s\text{-Alk}}$; $D_{\text{Ci-H}}$ та $D_{(\text{Ci-H}^+)}$

AlkH	n_{sec}	Pd^{2+}		$\text{OH}^\bullet$		I , еВ		$D_{\text{Ci-H}}$, ккал/моль	
		k_{rel}	$(i\text{-}k_{\text{H}})_{\text{rel}}^*$	k_{rel}	$(i\text{-}k_{\text{H}})_{\text{rel}}^*$	AlkH	$i\text{Alk}^\bullet$	AlkH	$i\text{AlkH}^+$
CH_4	–	–	–	0,0017	$4,25 \cdot 10^{-4}$	12,61	9,8	105,0	41,1
C_2H_6	0	0,04	0,0067	0,065	0,011	11,52	8,3	100,5	26,3
C_3H_8	2	0,44	0,2	0,29	0,112	10,94	7,5	98,1	18,9
C_4H_{10}	4	0,68	0,16	0,62	0,139	10,53	7,4	98,3	26,1
C_5H_{12}	6	1,00	0,16	1	0,156	10,28	7,4	99,2	32,8
C_6H_{14}	8	1,04	0,125	1,37	0,163	10,13	7,4	98,0	35,0
C_7H_{16}	10	1,36	0,132	1,78	0,172	9,93	7,2	98,0	35,0
C_8H_{18}	12	1,28	0,103	2,13	0,172	9,80	**	**	**
C_9H_{20}	14	1,40	0,097	2,55	0,178	9,71	**	**	**
$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	16	1,56	0,095	2,9	0,177	9,65	**	**	**

* Для реакцій $\text{OH}^\bullet$ і Pd^{2+} з n -алканами використано: для C_3 – C_{10} величини $I_{s\text{-Alk}}$ для радикалів $s\text{-Alk}^\bullet$, утворених за відриву H від $\text{C}_{\text{sec}}-\text{H}$, і $D_{(s\text{-AlkH}^+)}$ для катіонів $s\text{-AlkH}^+$, утворених за відриву e^- від $\text{C}_{\text{sec}}-\text{H}$, та k_{rel} і $(s\text{-}k_{\text{H}})_{\text{rel}}$ для ряду C_1 – C_2 величини I_{Alk} для радикалів $\text{CH}_3^\bullet$ і $\text{C}_2\text{H}_5^\bullet$, $D_{(AlkH^+)}$ для катіонів CH_4^+ і C_2H_6^+ , а також k_{rel} і $k_{\text{rel}}/4$ для CH_4 та k_{rel} і $(p\text{-}k_{\text{H}})_{\text{rel}}$ для C_2H_6 .

** Дані відсутні.

механізмів з лімітуючими реакціями різної природи.

Співвідношення між характеристиками для метану, етану і пропану. Перші 2 алкани ряду C_1 – C_{10} , CH_4 і C_2H_6 , відрізняються від решти найбільшими величинами I_{n-AlkH} , $I_{n-Alk\cdot}$ та D_{AlkH} . Третій – пропан має 6 зв'язків $C_{prim}-H$, як C_2H_6 і як усі наступні алкани, та мінімальну кількість $C_{sec}-H$, яка в ряду C_1 – C_{10} зростає від 2 у C_3H_8 до 16 у $C_{10}H_{22}$.

Для C_1 – C_3 розглянуто шість лінійних кореляцій між X_{AlkH} : $I_{Alk\cdot}-D_{Ci-H}$; $I_{AlkH}-I_{Alk\cdot}$; $I_{AlkH}-D_{Ci-H}$; $D_{C-H}-D_{(Ci-H+)}$; $I_{Alk\cdot}-D_{(Ci-H+)}$; $I_{AlkH}-D_{(Ci-H+)}$, які за використання для C_3H_8 характеристик за зв'язком $C_{sec}-H$ (D_{Cs-H} , $I_{s-Alk\cdot}$, $D_{(Cs-H+)}$) виконуються з коефіцієнтом $R^2 = 1$, що не дає змоги однозначно встановити природу швидкості визначальної реакції, виходячи лише з цих X_{n-AlkH} ; тоді як за зв'язком $C_{prim}-H$ коефіцієнт R^2 знижується від 0,982 для першої кореляції до 0,13 для останньої.

Кінетичний розподільчий метод. Кінетику реакцій n -алканів ряду від етану до декану C_2 – C_{10} , які мають низьку розчинність і високу леткість у сірчаноокислих розчинах, досліджено кінетичним розподільчим методом (Volkova & Oreida I., 2023) у закритому реакторі, що вміщує розчин $Pd^{2+}-H_2SO_4$ із суттєвим надлишком $[Pd^{2+}]$ над концентрацією $n-AlkH$, і газову фазу з алканом. В умовах дослідження, 94,9% H_2SO_4 за 90 °C, метан є інертним і тому використаний як внутрішній стандарт, який вводять у реактор разом із досліджуваними алканами і за яким визначають витрату в часі $[n-AlkH]$ із газової фази. Рівноважний розподіл $[AlkH]$ між газом і розчином та перебіг реакції у розчині в кінетичній області, що забезпечено енергійним струшуванням реактора, дає змогу використати рівняння:

$$-(d[n-AlkH]_p/dt) = k_1[n-AlkH]_p = k_2[n-AlkH]_p[Pd^{2+}]_p, \quad (4)$$

де $[n-AlkH]_p$ і $[Pd^{2+}]_p$ – концентрації алкану і паладію (II) у розчині (р) за $[Pd^{2+}]_p \gg [n-AlkH]_p$, k_1 і k_2 – константи швидкості 1-го і 2-го порядку відповідно, $k_1 = k_2[Pd^{2+}]$; а також за зміною у часі концентрації алкану в газовій фазі ($[AlkH]_g$) виміряти за рівн. (5а) спостережувану константу k :

$$k_\lambda = d(\ln[AlkH]_g)/dt \text{ (a), } k = k_\lambda(1+\alpha\lambda) \text{ (б),}$$

$$\alpha = [AlkH]_g/[AlkH]_p \text{ (в), } \lambda = V_g/V_p \text{ (г),} \quad (5)$$

що пов'язана із k – константою швидкості визначальної реакції у розчині, рівн. (5б),

враховує α – коефіцієнт рівноважного розподілу $[AlkH]$ між газом і розчином (5в) та λ – відношення об'ємів газу (V_g) і розчину (V_p) у реакторі (5г).

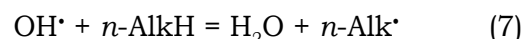
У цій роботі експериментальні величини констант k_2 (Volkova & Oreida I., 2023) використані для оцінки такої важливої величини, як субстратна селективність, яка визначена як відношення (relations) констант k_2 для кожного із n -алканів до k_2 для вибраного як репер n -пентану:

$$k_{rel} = k_{n-AlkH} / k_{n-C_5H_{12}}, \text{ для } n-C_5H_{12} \quad k_{rel} = 1 \quad (6)$$

і застосована в кореляційному аналізі з X_{n-AlkH} . Величини k_{rel} наведено в табл. 1.

Результати та їх обговорення

Модельна реакція гомолізу C–H. Газофазна реакція гідроксильних радикалів $OH^\cdot$ за 25 °C з n -алканами ряду C_1 – C_{10} відбувається через гомолітичний відрив радикалом $OH^\cdot$ атома H від зв'язку C–H:



і утворення нового зв'язку $HO-H$, енергія якого $D_{O-H} = (118,81 \pm 0,07)$ на 13 ккал/моль є більшою, ніж $D_{C-H} = 105$ для метану – найінертнішого з $AlkH$, що забезпечує високу термодинамічну вигідність гомолізу зв'язків $C_{sec}-H$ для ряду C_3 – C_8 , де $D_{Cs-H} = 98$ – 99 ккал/моль, та дещо нижчу – для зв'язку $C_{prim}-H$ у C_2H_6 , $D_{Cp-H} = 100,5$, і навіть C–H у CH_4 . У табл. 1 для алканів C_1 – C_{10} наведені величини k_{rel} в реакції (7), які розраховані за кінетичними даними (Atkinson, 2003) і свідчать про дуже високу селективність в ряді C_1 – C_3 .

Виявилось, що для ряду C_3 – C_{10} , де n_{sec} зростає у 8 разів, лінійна кореляція k_{rel} від n_{sec} виконується дуже точно:

$$k_{rel} = 0,189 \times n_{sec} - 0,12, R^2 = 0,9995, \quad (8)$$

що свідчить на користь механізму НАТ в реакції (7). У ряді C_2 – C_{10} за умов $n_{sec} = 0$ для C_2H_6 (рис. 1, лінія 1) точність кореляції практично залишається такою ж високою:

$$k_{rel} = 0,183 \times n_{sec} - 0,05, R^2 = 0,997. \quad (9)$$

Порівняння реакцій алканів з $OH^\cdot$ та в розчині $Pd^{2+} - H_2SO_4$. Для реакцій C_2 – C_{10} в системі $Pd^{2+} - H_2SO_4$ кореляція $k_{rel} - n_{sec}$ (див. рис. 1, лінія 2) виконується менш точно $R^2 = 0,915$ і з огляду на характер залежності може бути розглянутою як дві кореляції. Перша, для ряду C_2 – C_5 , яка за даними k_{rel} близька до реакції з $OH^\cdot$, виконується з $R^2 = 0,991$ (див. рис. 1, лінія 3), що узгоджується з переважним внеском гомо-

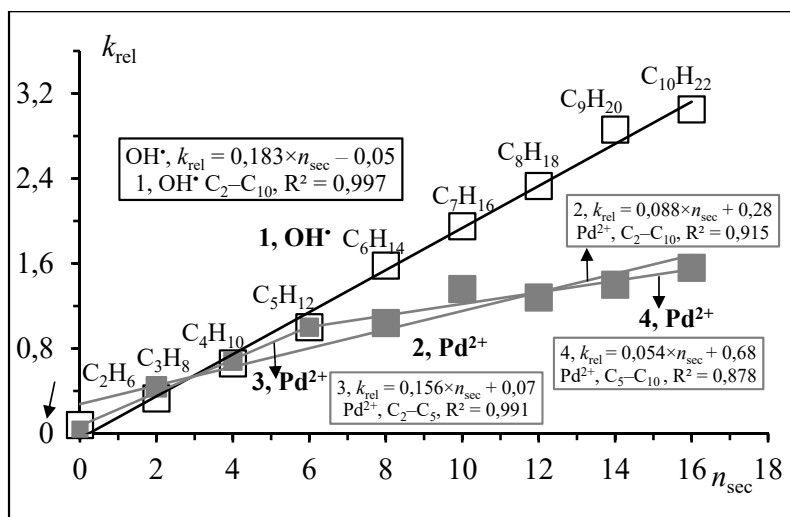


Рис. 1. Залежність відносних констант швидкості k_{rel} від n_{sec} (кількості $C_{sec}-H$) в реакціях n -алканів ряду C_2-C_{10} з радикалом $OH\cdot$ у газі (світлі квадрати), лінія 1, й у розчині $Pd^{2+} - H_2SO_4$ (темні квадрати), лінія 2, та рядів C_2-C_5 і C_5-C_{10} , лінії 3 і 4 відповідно. Для C_2H_6 $n_{sec} = 0$

лізу $C-H$ у константу швидкості для легших алканів.

Друга кореляція для C_5-C_{10} , де зростання k_{rel} з ростом n_{sec} є значно повільнішим (див. рис. 1, лінія 4), має нижчу точність ($R^2 = 0,878$), що може вказувати на зменшення внеску НАТ, пов'язаного з більшою здатністю ланцюгів з кількістю зв'язків $C-C \geq 6-8$ згорнутися в клубок в реакції n -AlkH з $Pd^{2+} - H_2SO_4$, ніж у газофазній з $OH\cdot$, що посилює стеричний фактор і зменшує вплив НАТ у розчині.

Парціальні константи швидкості гомолізу C_i-H . Можливість застосування адитивної моделі до n -алканів дало змогу уникнути математичного пояснення зв'язку між тим, що характеризує логарифм вимірюваної брутто константи k , яка є сумою парціальних констант (k_H), і брутто характеристикою молекули, від якої лінійно залежить $\lg k$; а також оцінити величини k_H та порівняти результати кореляційного аналізу залежностей k від X_{n-AlkH} та k_H від X_{n-AlkH} для реакцій з $OH\cdot$ і з Pd^{2+} .

Отже, константу швидкості k_{rel} для ряду C_2-C_{10} було представлено як суму констант за зв'язками C_i-H , ($i-k$) $_{rel}$, а саме $C_{prim}-H$ і $C_{sec}-H$:

$$k_{rel} = (prim-k)_{rel} + (sec-k)_{rel} = n_{prim} \times (prim-k_H)_{rel} + n_{sec} \times (sec-k_H)_{rel}, \quad (10)$$

кожна з яких дорівнює добутку «парціальної» константи ($i-k_H$) $_{rel}$, віднесеної до одного зв'язку C_i-H , та n_i – кількості цих зв'язків, і позначених далі як $(p-k_H)_{rel}$ і $(s-k_H)_{rel}$. З при-

пущенням для кожного n -AlkH ряду C_3-C_{10} , що величина константи $(p-k_H)_{rel}$ для зв'язків $C_{prim}-H$ дорівнює k_{rel} для етану C_2H_6 , використовуючи (10), можна оцінити константу $(s-k_H)_{rel}$ для зв'язків $C_{sec}-H$ і парціальну $(s-k_H)_{rel}$ для одного зв'язку $C_{sec}-H$:

$$(s-k)_{rel} = k_{rel} - k_{rel}(C_2H_6) = n_{sec} \times (s-k_H)_{rel};$$

$$(s-k_H)_{rel} = (s-k)_{rel} / n_{sec}. \quad (11)$$

Величини парціальних констант, $(s-k_H)_{rel}$ для C_3-C_{10} , $(p-k_H)_{rel} = k_{rel} / n_{prim}$ для C_2H_6 і $(k_H)_{rel} = k_{rel} / 4$ для CH_4 , в реакціях з $OH\cdot$ і Pd^{2+} наведено в табл. 1.

Для реакцій $OH\cdot$ з C_1-C_3 кореляції логарифмів k_{rel} та парціальних $(k_H)_{rel}$, $(p-k_H)_{rel}$, $(s-k_H)_{rel}$ від D_{C_i-H} виконуються з високою точністю:

$$\lg k_{rel} = -0,327 \times D_{C_i-H} + 31,60, R^2 = 0,996, \quad (12)$$

$$\lg(i-k_H)_{rel} = -0,346 \times D_{C_i-H} + 32,93, R^2 = 0,993. \quad (13)$$

Нижче порівняно реакції $OH\cdot$ і Pd^{2+} з n -алканами у рядах:

C_3-C_{10} , k_{rel} зростає в 10 і в 3,5 раза для $OH\cdot$ і Pd^{2+} відповідно; парціальна $(s-k_H)_{rel}$ зростає в 1,6 раза для $OH\cdot$, тоді як для Pd^{2+} , навпаки, зменшується у 2 рази;

C_1-C_7 , виконуються лінійні кореляції, $\lg k_{rel} - D_{C_i-H}$ та $\lg(i-k_H)_{rel} - D_{C_i-H}$, для яких $R^2 = 0,912$ і $0,956$ відповідно для $OH\cdot$ та $R^2 \leq 0,76$ для $Pd^{2+} - H_2SO_4$.

Ці дані свідчать про те, що врахування лише гомолізу зв'язку $C-H$, що рветься, є недостатнім, тобто D_{C-H} не є єдиним фактором, який впливає на реактивність моле-

кул, і слід очікувати посилення ролі факторів іншої природи на константи швидкості реакцій.

Відрив електрона в реакціях *n*-алканів з $\text{OH}^\bullet$ та в системі $\text{Pd}^{2+} - \text{H}_2\text{SO}_4$. Для реакцій $\text{C}_1 - \text{C}_{10}$ із радикалом $\text{OH}^\bullet$ і $\text{C}_2 - \text{C}_{10}$ у розчині $\text{Pd}^{2+} - \text{H}_2\text{SO}_4$ залежності $\lg k_{\text{rel}}$ від потенціалу іонізації I_{AlkH} виявилися якісно однотипними, кожна складається з двох лінійних кореляцій, перша для метану, етану, пропану ($\text{OH}^\bullet$) або C_2H_6 , C_3H_8 (Pd^{2+}), друга – для $\text{C}_3 - \text{C}_{10}$ (рис. 2).

Реакції з радикалом $\text{OH}^\bullet$. Як і очікувалося, для $\text{C}_1 - \text{C}_3$ кореляції логарифма субстратної селективності ($\lg k_{\text{rel}}$) від потенціалів іонізації I_{AlkH} та $I_{\text{Alk}^\bullet}$:

$$\lg k_{\text{rel}} = -1,351 \times I_{\text{AlkH}} + 14,30, R^2 = 0,996, \quad (14)$$

$$\lg k_{\text{rel}} = -0,981 \times I_{\text{Alk}^\bullet} + 6,88, R^2 = 0,996, \quad (15)$$

а також від енергії $\text{C}_1 - \text{H}$ у катіоні AlkH^+ :

$$\lg k_{\text{rel}} = -0,102 \times D_{(\text{C}_1 - \text{H}^+)} + 1,42, R^2 = 0,998; \quad (16)$$

та кореляції (12–13) виконуються з високою точністю ($R^2 = 0,993 - 0,998$), що не дає змоги віддати перевагу жодному механізму за результатами кореляційного аналізу між $\lg k_{\text{rel}}$ і величинами X_{AlkH} для метану, етану, пропану.

З іншого боку, виконання для реакцій $\text{C}_2 - \text{C}_{10}$ з $\text{OH}^\bullet$ кореляції (9) з високим значенням

R^2 свідчить про роль гомолізу $\text{C}_{\text{sec}} - \text{H}$ і $\text{C}_{\text{prim}} - \text{H}$ як для $\text{C}_2 - \text{C}_{10}$, так і для рядів $\text{C}_2 - \text{C}_3$ і $\text{C}_3 - \text{C}_{10}$.

Висока точність опису залежності між характеристиками $I_{n-\text{AlkH}}$ та $\lg(n_{\text{sec}})$, рівн. (2), забезпечила для реакцій $\text{C}_3 - \text{C}_{10}$ з $\text{OH}^\bullet$ найбільш точне виконання лінійних кореляцій $k_{\text{rel}} - n_{\text{sec}}$ (8) і $\lg k_{\text{rel}} - I_{\text{AlkH}}$ (див. рис. 2, лінія 1) $R^2 = 0,9995$ і $0,997$ відповідно. Точність кореляції $\lg k_{\text{rel}} - I_{\text{AlkH}}$ зі зростанням ряду від $\text{C}_3 - \text{C}_{10}$ до $\text{C}_2 - \text{C}_{10}$:

$$\lg k_{\text{rel}} = -0,852 \times I_{\text{AlkH}} + 8,72, R^2 = 0,990 \quad (17)$$

лише дещо зменшується; у повному ряді $\text{C}_1 - \text{C}_{10}$ суттєво зменшується:

$$\lg k_{\text{rel}} = -1,046 \times I_{\text{AlkH}} + 10,68, R^2 = 0,976, \quad (18)$$

що узгоджується зі збільшенням внеску НАТ для легших алканів.

На рис. 3 представлені лінійні кореляції $\lg k_{\text{rel}}$ від потенціалів іонізації ($I_{\text{Alk}^\bullet}$), утворюваних у гомолізі $\text{C} - \text{H}$ радикалів $\text{CH}_3^\bullet$, $p\text{-C}_2\text{H}_5^\bullet$, $s\text{-C}_3\text{H}_7^\bullet$ і $s\text{-C}_7\text{H}_{15}^\bullet$.

Для реакцій $\text{OH}^\bullet$ з алканами $\text{C}_1 - \text{C}_7$ (див. рис. 3, лінія 1) кореляція:

$$\lg k_{\text{rel}} = -1,134 \times I_{\text{Alk}^\bullet} + 8,29, R^2 = 0,970 \quad (19)$$

виконується з найменшою точністю і суттєво зменшується для ряду $\text{C}_2 - \text{C}_7$ без CH_4 ($R^2 = 0,87$). Отже, друга елементарна реакція, відрив e^- від утвореного в реакції (7) радикала $n\text{-Alk}^\bullet$, є мало ймовірною.

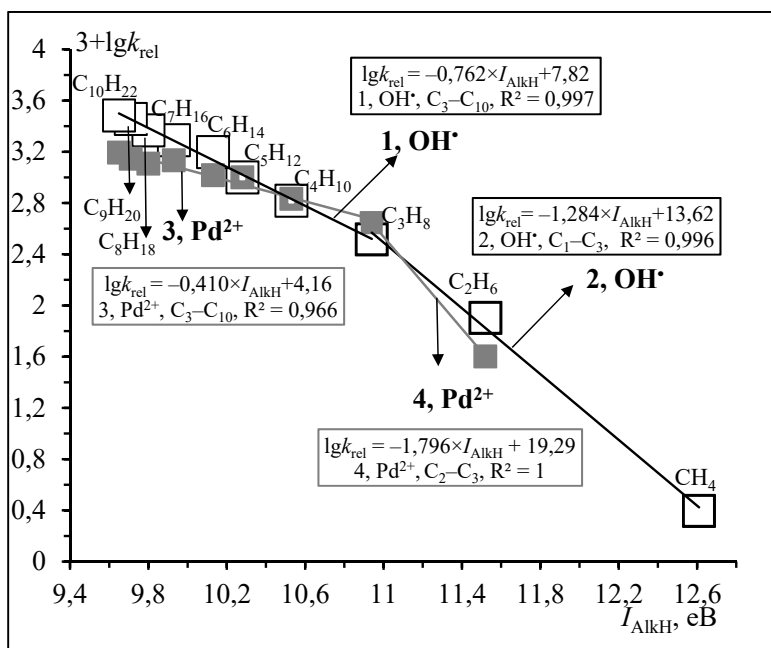


Рис. 2. Залежність $\lg k_{\text{rel}}$ від потенціалу іонізації I_{AlkH} в реакціях алканів із радикалом $\text{OH}^\bullet$ у газі (світлі квадрати) для $\text{C}_3 - \text{C}_{10}$, лінія 1, $\text{C}_1 - \text{C}_3$, лінія 2; та в розчині $\text{Pd}^{2+} - \text{H}_2\text{SO}_4$ (темні квадрати) для $\text{C}_3 - \text{C}_{10}$, лінія 3, $\text{C}_2 - \text{C}_3$, лінія 4

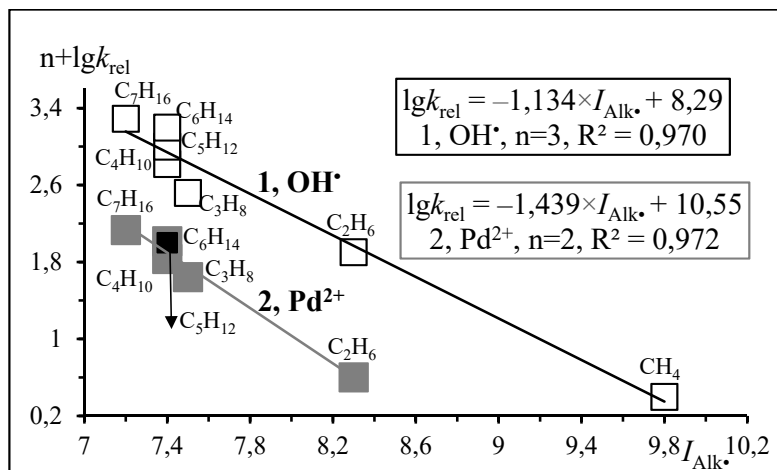


Рис. 3. Залежність $\lg k_{\text{rel}}$ від потенціалу іонізації радикалів Alk^* , I_{Alk^*} , в реакціях алканів із радикалом OH^* у газі (світлі квадрати) для ряду C_1 – C_7 , лінія 1; та в розчині Pd^{2+} – H_2SO_4 (темні квадрати) для ряду C_2 – C_7 , лінія 2

Реакції у розчині Pd^{2+} – H_2SO_4 . У системі Pd^{2+} – H_2SO_4 для реакцій алканів усього дослідженого ряду C_2 – C_{10} кореляція:

$$\lg k_{\text{rel}} = -0,741 \times I_{\text{AlkH}} + 7,47, R^2 = 0,858 \quad (20)$$

виконується з низькою точністю, дані для етану знаходяться значно нижче решти даних для ряду C_3 – C_{10} , які лінійна кореляція:

$$\lg k_{\text{rel}} = -0,410 \times I_{\text{AlkH}} + 4,16, R^2 = 0,966 \quad (21)$$

описує з доброю точністю (див. рис. 2, лінія 3), що узгоджується з посиленням ролі внеску відриву електрона в першій повільній реакції, тоді як етан реагує переважно за механізмом НАТ.

Наступна реакція відриву Н від утворюваних катіонів $s\text{-C}_3\text{H}_8^+$ – $s\text{-C}_7\text{H}_{16}^+$ не підтверджується, про що свідчить кореляція:

$$\lg k_{\text{rel}} = 0,043 \times D_{(\text{C}-\text{H}^+)} + 2,69, R^2 = 0,949, \quad (22)$$

яка описує зростання константи $\lg k_{\text{rel}}$ з ростом $D_{(\text{C}-\text{H}^+)}$ від 19 для C_3H_8^+ до 35 ккал/моль для $\text{C}_7\text{H}_{16}^+$ (див. табл. 1), тобто має протилежний характер порівняно з рештою досліджених кореляцій і меншу точність, ніж $\lg k_{\text{rel}} - I_{\text{AlkH}}$.

Лінійна кореляція величин $\lg k_{\text{rel}}$ від потенціалу іонізації I_{Alk^*} радикалів $p\text{-C}_2\text{H}_5^*$, $s\text{-C}_3\text{H}_7^*$ – $s\text{-C}_7\text{H}_{15}^*$, утворених з $\text{C}_{\text{prim}}\text{-H}$ для C_2H_6 та $\text{C}_{\text{sec}}\text{-H}$ для ряду C_3 – C_7 (див. рис. 3, лінія 2) виконується для реакцій з Pd^{2+} з найбільшою точністю:

$$\lg k_{\text{rel}} = -1,44 \times I_{\text{Alk}^*} + 10,55, R^2 = 0,972 \quad (23)$$

і свідчить про можливість конкуруючої реакції радикалів Alk^* з Pd^{2+} та ймовірність утворення C_2H_5^* через НАТ, тоді як $s\text{-C}_3\text{H}_7^*$ –

$s\text{-C}_7\text{H}_{15}^*$ – шляхом відриву протона H^+ від утворюваного катіона AlkH^+ .

Зіставлення результатів кореляційного аналізу за даними для реакцій алканів з OH^* і Pd^{2+} – H_2SO_4 . Нормальні алкани C_1 – C_{10} виявилися надзвичайно різними за величинами своїх характеристик X_{AlkH} у ряді метан, етан і в решти C_3 – C_{10} . Наслідком цього є те, що лінійні кореляції між використаними X_{AlkH} для CH_4 , C_2H_6 і C_3H_8 виконуються з максимальною точністю $R^2 = 1$, що не дає можливості визначити природу повільної стадії для алканів ряду C_1 – C_3 .

Виконання лінійної кореляції, кінетичні параметри від X_{AlkH} , з високою точністю в усьому ряді C_1 – C_{10} або C_2 – C_{10} дає змогу припустити один механізм, передбачуваний вибраною кореляцією, як для C_1 – C_{10} , так і для C_1 – C_3 і C_3 – C_{10} або як для C_2 – C_{10} , так і для C_2 – C_3 і C_3 – C_{10} .

Реакції C_1 – C_{10} з OH^* . Висока точність кореляції $k_{\text{rel}} - n_{\text{sec}}$ ($R^2 = 0,997$) для ряду C_2 – C_{10} узгоджується з гомолізом $\text{C}_{\text{sec}}\text{-H}$ і $\text{C}_{\text{prim}}\text{-H}$, механізмом НАТ у цьому ряді та, як наслідок, у рядах C_2 – C_3 (можна припустити C_1 – C_3) та C_3 – C_{10} .

Відповідно до високої точності ($R^2 = 0,997$) логарифмічної залежності I_{AlkH} від $\lg(n_{\text{sec}})$ у ряді C_3 – C_{10} лінійні кореляції $k_{\text{rel}} - n_{\text{sec}}$ та $\lg k_{\text{rel}} - I_{\text{AlkH}}$ для C_3 – C_{10} виконуються дуже точно, $R^2 = 0,9995$ і $0,997$ відповідно, тобто не є достатніми аргументами на користь НАТ або ЕТ. Однак попередні висновки щодо гомолізу C-H в усьому ряді C_1 – C_{10} , а отже, у C_1 – C_3 та C_3 – C_{10} рядах узгоджуються з тим, що залежність $\lg k_{\text{rel}} - I_{\text{AlkH}}$, яка описує ЕТ, але не НАТ, із розширенням ряду від C_3 – C_{10} до

повного C_1-C_{10} виконується з меншою точністю ($R^2 = 0,976$), що дає змогу припустити значну перевагу НАТ над ЕТ для C_1-C_3 , а також невідповідність кореляції $lgk_{rel} - I_{AlkH}$ природі лімітуючої стадії, де основну роль відіграє гомоліз C_1-H в усьому ряді C_1-C_{10} .

Виконання для реакцій C_1-C_7 з $OH^\bullet$ кореляції $lgk_{відн} - I_{Alk}$ з найменшою точністю із розглянутих ($R^2 = 0,970$) і зменшення R^2 до 0,857 для C_2-C_7 може свідчити про «чистий» гомоліз без конкуренції інших лімітуючих стадій.

Реакції C_2-C_{10} у розчині $Pd^{2+} - H_2SO_4$. Кореляції $k_{rel} - n_{sec}$ для рядів C_2-C_{10} і C_3-C_{10} мають близькі коефіцієнти $R^2 = 0,915$ і $0,920$ відповідно, які значно нижчі, ніж для реакцій з $OH^\bullet$, що може свідчити про перенос атома Н або протона H^+ , як одну із швидких визначальних стадій, але не єдину визначальну з конкуруючих, як у реакції з $OH^\bullet$.

Залежність $lgk_{rel} - I_{AlkH}$ для C_3-C_{10} виконується точніше $R^2 = 0,966$, ніж k_{rel} від n_{sec} , але для повного ряду C_2-C_{10} точність суттєво знижується $R^2 = 0,858$, що узгоджується з різними внесками конкуруючих реакцій НАТ і ЕТ для етану (можливо метану) і решти алканів C_3-C_{10} .

Найточніше з досліджених виконується кореляція $lgk_{rel} - I_{Alk^\bullet}$, $R^2 = 0,972$ для радикалів $p-C_2H_5^\bullet$, $s-C_3H_7^\bullet - s-C_7H_{15}^\bullet$, що свідчить про можливість конкуруючої реакції відриву електрона іоном Pd^{2+} від $Alk^\bullet$.

Використання характеристик n -алканів X_{n-AlkH} (див. табл. 1), уявлень щодо відносно високого електродного потенціалу $E_o = +0,91$ в окислювальному процесі $Pd^{2+} + 2e^- \rightarrow Pd$ (Gunsalus et al., 2017), результатів кореляційного аналізу кінетичних даних k_{rel} (lgk_{rel}) із X_{n-AlkH} дає змогу зробити такі висновки щодо природи швидкості визначальних стадій.

1. Окиснення C_2H_6 до карбокатиона $C_2H_5^+$ відбувається за участі двох іонів Pd^{2+} з відривом Н-атома від C_2H_6 (НАТ) та відривом e^- від утворюваного $C_2H_5^\bullet$.

2. Окиснення C_3-C_{10} починається з відриву іонами Pd^{2+} електрона і переносу H^+ на бісульфатний ліганд HSO_4^- , які відповідають механізму PCET, переносу e^- , пов'язаного з H^+ , з подальшим окисненням утворюваного $Alk^\bullet$ іоном Pd^{2+} .

Відмінність механізмів CH_4 та C_2H_6 у розчині $Pd^{2+} - H_2SO_4$ може бути ще більшою, ніж продемонстровано в цій роботі між станом і рештою C_3-C_{10} .

Так, у більш жорстких умовах, у системі Periana-Catalytica – розчин комплексів платини (II) в 98%-ній сірчаній кислоті

– за $200^\circ C$ відбувається ефективно, селективно перетворення CH_4 в метилбісульфат $MeOSO_3H$. З'ясувалося, що швидкість функціоналізації зв'язку $C-H$ етану є в ~ 100 разів більшою, ніж для метану (Konnick et al., 2014). Експеримент і квантово-механічні розрахунки свідчать про принципово різні каталітичні цикли й визначальні реакції, для метану це окиснення Pt^{II} , для етану – його активація. У комплексі $Pt^{II}-Et$ через низьку енергію елімінування β -гідриду утворюються гідрид Pt^{II} та етилен, останній швидко окислюється концентрованою H_2SO_4 до етилбісульфату $EtOSO_3H$, який далі реагує з H_2SO_4 і утворює бісульфатний ефір ізетіонової кислоти $HO_3S-CH_2-CH_2-OSO_3H$.

Квантово-хімічна оцінка термодинамічних характеристик реакцій гексану в системі $Pd^{2+} - H_2SO_4$. Для вивчення функціоналізації алканів використано різні методи квантової хімії: ab initio, DFT (Crabtree, 1995; Chempath & Bell, 2006) та напівемпіричні методи, зокрема PM7, обчислення якими ентальпії реакції в багатьох випадках досягають «хімічної» точності (Stewart, 2013, 2016). Виконання принципу Бренстедта – Еванса – Поляні для реакцій $C-H$ алканів (Niu et al., 2020) дає змогу використати розраховані ентальпії реакцій (ΔH°) для характеристики їх кінетичних даних та уточнення механізмів.

На прикладі реакції n -гексану в розчині $Pd^{2+} - H_2SO_4$ методом PM7 (пакет програм МОРАС-2016) обчислені стандартні ентальпії утворення можливих реактантів (ΔH_{298}°), які наведено в табл. 2.

У табл. 3 наведено ентальпії елементарних реакцій за механізмами гомолізу і гетеролізу зв'язку $C_{sec}-H$, обчислені за величинами ΔH_{298}° . Розглянуто відрив іонами Pd^{2+} від $n-C_6H_{14}$ атома Н (гомоліз 1), гідрид іона Н⁻ (гетероліз 4) та електрона з утворенням радикала $C_6H_{13}^\bullet$; карбокатиона $C_6H_{13}^+$, катиона $C_6H_{14}^+$ відповідно, а також відрив e^- від бісульфатного ліганда HSO_4^- з утворенням радикала $HSO_4^\bullet$; перенос протона H^+ від утворюваного $C_6H_{14}^+$ на HSO_4^- через появу радикала $C_6H_{13}^\bullet$ і H_2SO_4 .

Двостадійні механізми гомолізу можна представити одною сумарною реакцією з однаковою величиною $\Delta H^\circ = -407$ ккал/моль, тобто (2) і (3) є однаково термодинамічно вигідними, при цьому абсолютна величина ΔH° є значно більшою, ніж для одностадійного гомолізу (1).

У двостадійних механізмах гетеролізу в кожній реакції бере участь іон Pd^{2+} . У пер-

Таблиця 2
Стандартні ентальпії утворення (ккал/моль) реагентів у реакціях *n*-гексану по зв'язку C_{sec}-H у розчині Pd²⁺ – H₂SO₄

Частина	Pd ²⁺	Pd ²⁺ H	Pd ¹⁺	Pd-H ¹⁺	C ₆ H ₁₄	C ₆ H ₁₃ ·
ΔH ₂₉₈ ⁰	886	699	406	294	-38,4	-10,4
Частина	C ₆ H ₁₃ ⁺	C ₆ H ₁₄ ⁺	H ₂ SO ₄	HSO ₄ ⁻	HSO ₄ ·	tert-C ₆ H ₁₃ ⁺
ΔH ₂₉₈ ⁰	168	183	-177	-222	-111	152

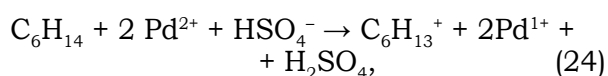
Таблиця 3
Величини ΔH⁰ (ккал/моль) для механізмів гомолізу і гетеролізу зв'язку C_{sec}-H *n*-гексану в розчині Pd²⁺ – H₂SO₄

Гомоліз		-ΔH ⁰	Гетероліз		-ΔH ⁰
1 C ₆ H ₁₄ + Pd ²⁺ → C ₆ H ₁₃ · + Pd ²⁺ -H		159	4 C ₆ H ₁₄ + Pd ²⁺ → C ₆ H ₁₃ ⁺ + Pd ¹⁺ -H		385
2	C ₆ H ₁₄ + Pd ²⁺ → C ₆ H ₁₄ ⁺ + Pd ¹⁺	259	5	C ₆ H ₁₄ + Pd ²⁺ → C ₆ H ₁₃ · + Pd ²⁺ -H	159
	C ₆ H ₁₄ ⁺ + HSO ₄ ⁻ → C ₆ H ₁₃ · + H ₂ SO ₄	148		C ₆ H ₁₃ · + Pd ²⁺ → C ₆ H ₁₃ ⁺ + Pd ¹⁺	302
3	HSO ₄ ⁻ + Pd ²⁺ → HSO ₄ · + Pd ¹⁺	369	6	C ₆ H ₁₄ + Pd ²⁺ → C ₆ H ₁₄ ⁺ + Pd ¹⁺	259
	C ₆ H ₁₄ + HSO ₄ · → C ₆ H ₁₃ ⁺ + H ₂ SO ₄	38		C ₆ H ₁₄ ⁺ + Pd ²⁺ → C ₆ H ₁₃ ⁺ + Pd ²⁺ -H	202
2=3 C ₆ H ₁₄ + Pd ²⁺ + HSO ₄ ⁻ → C ₆ H ₁₃ · + Pd ¹⁺ + H ₂ SO ₄		407	5=6 C ₆ H ₁₄ + 2Pd ²⁺ → C ₆ H ₁₄ ⁺ + Pd ¹⁺ + Pd ²⁺ -H		461

шій – відбувається відрив Н-атома (5) або е⁻ (6), у наступній – шляхом відриву е⁻ від C₆H₁₃· (5) або Н від C₆H₁₄⁺ (6) утворюється карбокатион C₆H₁₃⁺. Сумарна реакція для механізмів (5) і (6) є однаковою і за величиною ΔH⁰ = -460 ккал/моль термодинамічно вигіднішою за гомоліз (2) і (3).

Кореляційна залежність lgk_{rel} від D_(C_i-H_j), рівн. (22), спростовує відрив іоном Pd²⁺ атома Н від катіонів C_{sec}-H⁺ ряду C₃-C₇, до якого входить C₆H₁₄, залишаючи один двостадійний механізм гетеролізу (5).

Тристадійний механізм (7), що розпочинається з двостадійного гомолізу (2) і завершується утворенням карбокатиона C₆H₁₃⁺ через відрив паладієм (II) е⁻ від C₆H₁₃·, описується сумарною реакцією:



яка є термодинамічно найвигіднішою, ΔH⁰ = -709 ккал/моль, із розглянутих (1-5).

Гетероліз, що веде до утворення sec-C₆H₁₃⁺ з можливою ізомеризацією в більш стабільний tert-C₆H₁₃⁺, ΔH₂₉₈⁰ = 152 ккал/моль проти ΔH₂₉₈⁰ = 168 для sec-C₆H₁₃⁺ (див. табл. 2) і рівновагою карбокатион ↔ олефін, відповідає результатам ідентифікації продуктів взаємодії алканів з Pd²⁺ – H₂SO₄ через швидкі та різноманітні перетворення первинних продуктів олефінів.

Висновки

1. Показано ефективність використання кореляційного аналізу між відносними константами швидкості (k_{rel}) і характерис-

тиками *n*-алканів (X_{*n*-AlkH}) для реакцій від метану до декану, ряд C₁-C₁₀, із радикалом OH· у газі та C₂-C₁₀ у розчині Pd²⁺ – H₂SO₄ для вивчення природи швидкості визначальних стадій.

2. Вірогідність лімітуючої реакції оцінювали за величиною коефіцієнта детермінації R² для трьох лінійних кореляцій, що описують гомоліз, який дорівнює відриву атома Н (НАТ), k_{rel} від n_{sec} (кількість зв'язків C_{sec}-H), відрив електрона (ЕТ) від *n*-алкана, lgk_{rel} – I_{*n*-AlkH} (потенціал іонізації *n*-AlkH), чи від утворюваного радикала, lgk_{rel} – I_{*n*-Alk·}; а також за природою зміни R² для рядів C₁-C₁₀, C₂-C₁₀, C₃-C₁₀, C₁-C₇, C₂-C₇.

3. Для реакції AlkH + OH· найточніше виконується кореляція k_{rel} – n_{sec} для рядів C₃-C₁₀ (0,9995), C₂-C₁₀ R² = 0,997 за n_{sec} = 0 для C₂H₆, що відповідає механізму НАТ. Залежність lgk_{rel} – I_{*n*-AlkH} для C₃-C₁₀ також описується високою точністю R² = 0,997, але не є остаточною оцінкою вірогідності відриву електрона (e⁻), оскільки для кореляції між lg n_{sec} та I_{*n*-AlkH} R² = 0,997. Розширення ряду до C₂-C₁₀ і C₁-C₁₀ веде не до підвищення, а до зниження точності кореляції lgk_{rel} – I_{*n*-AlkH}, коефіцієнт R² зменшується до 0,990 і 0,976 відповідно, що узгоджується з домінуванням НАТ для C₁-C₁₀. Найменша точність, R² = 0,87, виявилася для кореляції lgk_{rel} – I_{*n*-Alk·} у ряді C₂-C₇, що узгоджується з малою вірогідністю відриву е⁻ від утворюваного через гомоліз радикала. Розширення ряду до C₁-C₇ значно підвищує точність до R² = 0,970.

4. Для системи $\text{Pd}^{2+} - \text{H}_2\text{SO}_4$ в усьому дослідженому ряді $\text{C}_2 - \text{C}_{10}$ кореляція $k_{\text{rel}} - n_{\text{sec}}$ виконується з невисокою точністю, $R^2 = 0,915$, яка дещо збільшується – до $R^2 = 0,920$ в коротшому $\text{C}_3 - \text{C}_{10}$, що може свідчити про посилення внеску повільної стадії іншої природи. Дійсно, кореляція $\lg k_{\text{rel}} - I_{\text{AlkH}}$ виконується значно точніше в ряді $\text{C}_3 - \text{C}_{10}$, але суттєво погіршується від $R^2 = 0,966$ до $R^2 = 0,858$ із розширенням до $\text{C}_2 - \text{C}_{10}$, що узгоджується з конкуренцією НАТ і ЕТ, яка стає помітною, починаючи з C_3H_8 . З найвищою точністю $R^2 = 0,972$ виконується залежність $\lg k_{\text{rel}} - I_{\text{Alk}}$ для ряду $\text{C}_2 - \text{C}_7$. Аналіз трьох кореляцій свідчить про різні механізми для етану й решти алканів $\text{C}_3 - \text{C}_{10}$.

Для $\text{C}_3 - \text{C}_{10}$ першою повільною реакцією, що домінує над НАТ стає ЕТ з поступовим несуттєвим зростанням його внеску зі зменшенням $I_{n-\text{AlkH}}$ в цьому ряді. Відрив іоном Pd^{2+} електрона від AlkH вимушує протон H^+ , пов'язаний із цим e^- , до пере-

ходу на ліганд – бісульфатний аніон HSO_4^- з утворенням радикала $\text{Alk}^\bullet$ і H_2SO_4 , механізм PCET (proton-coupled electron transfer). Поява карбокатиона Alk^+ відбувається у третій повільній реакції відриву e^- іоном Pd^{2+} від $\text{Alk}^\bullet$. Отже, карбокатиони $\text{C}_3\text{H}_7^+ - \text{C}_7\text{H}_{15}^+$ утворюються в тристадійному переносі $e^- - \text{H}^+ - e^-$ за участі $\text{Pd}^{2+} - \text{HSO}_4^- - \text{Pd}^{2+}$ відповідно.

Функціоналізація етану до C_2H_5^+ йде через дві повільні реакції відривів атома H (НАТ) і e^- (ЕТ) за участі двох Pd^{2+} .

5. Розраховані напівемпіричним методом PM7 величини ентальпії окремих реакцій C_6H_{14} у системі з Pd^{2+} свідчать про найвищу термохімічну вигідність трьох послідовних відривів $e^- - \text{H}^+ - e^-$, що узгоджується з результатами кореляційного аналізу k_{rel} чи $\lg(k_{\text{rel}})$ від $X_{n-\text{AlkH}}$ для ряду $\text{C}_3 - \text{C}_{10}$, що вміщує C_6H_{14} .

Автори висловлюють подяку професору ІнФОВ НАН України Опейді Й. за допомогу в інтерпретації отриманих даних.

Список використаної літератури

- Волкова Л., Опейда Й. Аналіз механізму реакцій *n*-алканів у сірчаноокислих розчинах паладію (II). *Поступ в нафтогазопереробній та нафтохімічній промисловості* – 2024. Львів, 2024. С. 61–65.
- Волкова Л.К., Опейда Й.О., Аніщенко В.М. Утворення подвійних зв'язків у дегідрогенізації циклогексану. *Хімічні проблеми сьогодення*. Вінниця, 2024. С. 107.
- Волкова Л., Опейда Л., Пастернак О. Механізми окисної функціоналізації зв'язків С–Н *n*-алканів у сірчаноокислих розчинах паладію (II). *Поступ в нафтогазопереробній та нафтохімічній промисловості* – 2022. Львів, 2022. С. 49–52.
- Волкова Л.К., Опейда Й.О. Активація зв'язків С–Н нормальних алканів у сірчаноокислих розчинах Mn(III) / Mn(II) . *Каталіз та нафтохімія*. 2021. № 32. С. 75–85. <https://doi.org/10.15407/kataliz2021.32.075>.
- Alkane Functionalization. / Editor by A.J.L. Pombeiro and M.F.C. Guedes da Silva. John Wiley & Sons Ltd, 2019. 683 p. ISBN: 9781119378808. DOI: 10.1002/9781119379256.
- Anslyn E.V., Dougherty D.A. Modern physical organic chemistry. University science books. University Science Books Sausalito, California. 2006. 1095 p. [Electronic resource]. URL: <https://uscibooks.aip.org/books/modern-physical-organic-chemistry/> (access date 27.12.2024).
- Atkinson R. Kinetics of the gas-phase reactions of OH radicals with alkanes and cycloalkanes. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2003. Vol. 3. P. 2233–2307. <https://doi.org/10.5194/acp-3-2233-2003>.
- Chempath S., Bell A.T. Density Functional Theory Analysis of the Reaction Pathway for Methane Oxidation to Acetic Acid Catalyzed by Pd^{2+} in Sulfuric Acid. *Journal of the American Chemical Society*. 2006. Vol. 128. No. 14. P. 4650–4657. <https://doi.org/10.1021/ja055756i>.
- Comprehensive Handbook of Chemical Bond Energies. Edited by Yu-Ran Luo. Taylor and Francis Group, LLC. 2007. 1688 p. <https://doi.org/10.1201/9781420007282>.
- Crabtree R.H. Aspects of methane chemistry. *Chemical Reviews*. 1995. Vol. 95. No. 4. P. 987–1007. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/cr00036a005>.
- Crabtree R.H. Introduction to Selective Functionalization of C–H Bonds. *Chemical Reviews*. 2010. Vol. 110. P. 575. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/cr900388d>.
- Dalton T., Faber T., Glorius F. C–H activation: toward sustainability and applications. *ACS Central Science*. 2021. Vol. 7. No. 2. P. 245–261. <https://doi.org/10.1021/acscentsci.0c01413>.
- Goldberg K.I., Goldman A.S. Large-Scale Selective Functionalization of Alkanes. *Accounts of Chemical Research*. 2017. Vol. 50. P. 620–626. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.accounts.6b00621>.

- Gunsalus N.J., Koppaka A., Park S.H., Bischof S.M., Hashiguchi B.G., Periana R.A. Homogeneous Functionalization of Methane. *Chemical Reviews*. 2017. Vol. 117. No. 13. P. 8521–8573. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.chemrev.6b00739>.
- Gunsalus N.J., Koppaka A., Hashiguchi B.G., Konnick M.M., Park S.H., Ess D.H., Periana R.A. SN2 and E2 Branching of Main-Group-Metal Alkyl Intermediates in Alkane CH Oxidation: Mechanistic Investigation Using Isotopically Labeled Main-Group-Metal Alkyls. *Organometallics*. 2020. Vol. 39. No. 10. P. 1907–1916. <https://doi.org/10.1021/acs.organomet.0c00120>.
- Hartwig J.F. Evolution of C–H Bond Functionalization from Methane to Methodology. *Journal of the American Chemical Society*. 2016. Vol. 138. No. 1. P. 2–24. <https://doi.org/10.1021/jacs.5b08707>.
- He J., Wasa M., Chan K.S., Shao Q., Yu J.-Q. Palladium-catalyzed transformations of alkyl C–H bonds. *Chemical Reviews*. 2017. Vol. 117. No. 13. P. 8754–8786. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.chemrev.6b00622>.
- King C.R., Rollins N., Holdaway A., Konnick M.M., Periana R.A., Ess D.H. Electrophilic Impact of High-Oxidation State Main-Group Metal and Ligands on Alkane C–H Activation and Functionalization Reactions. *Organometallics*. 2018. Vol. 37. No. 18. P. 3045–3054. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.organomet.8b00418>.
- King C.R., Holdaway A., Durrant G., Wheeler J., Suaava L., Konnick M.M., Periana R.A., Ess D.H. Supermetal: SbF₅-mediated methane oxidation occurs by C–H activation and isobutane oxidation occurs by hydride transfer. *Dalton Transactions*. 2019. Vol. 48. P. 17029–17036. <https://doi.org/10.1039/C9DT03564H>.
- Konnick M.M., Bischof S.M., Yousufuddin M., Hashiguchi B.G., Ess D.H., Periana R.A. A Mechanistic Change Results in 100 Times Faster CH Functionalization for Ethane versus Methane by a Homogeneous Pt Catalyst. *Journal of the American Chemical Society*. 2014. Vol. 136. P. 10085–10094. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ja504368r>.
- Koppaka A., Gunsalus N.J., Periana R.A. “Homogeneous Methane Functionalization” chapter 12, 46 p. in book Hu B., Shekhawat D. Direct Natural Gas Conversion to Value-Added Chemicals. Pub. Location Boca Raton, Imprint CRC Press. 2020. – eBook ISBN 9780429022852.
- Krämer T., Gytton M.R., Bustos I., Sinclair M.J.G., Tan Sze-yin, Wedge C.J., Macgregor S.A., Chaplin A.B. Stability and C–H Bond Activation Reactions of Palladium (I) and Platinum (I) Metalloradicals: Carbon-to-Metal H-Atom Transfer and an Organometallic Radical Rebound Mechanism. *Journal of the American Chemical Society*. 2023. Vol. 145. P. 14087–14100. <https://doi.org/10.1021/jacs.3c04167>.
- Labinger J.A. Alkane Functionalization via Electrophilic Activation. In: Alkane CH Activation by Single-Site Metal Catalysis. Springer, Dordrecht. 2012. P. 17–71. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3698-8_2.
- Na H., Wessel A.J., Kim Seoung-Tae, Baik Mu-Hyun, Mirica L.M. Csp₃–H Bond Activation Mediated by a Pd (II) Complex under Mild Conditions. *Inorganic Chemistry Frontiers*. 2024. Vol. 11. P. 4415–4423. <https://doi.org/10.1039/D4QI01017E>.
- NIST Chemistry WEBBook. [Electronic resource]. URL: <https://webbook.nist.gov/chemistry/> (access date 27.12.2024). <https://doi.org/10.18434/T4D303>.
- Niu K., Chi L., Rosen J., Björk J. C–H activation of light alkanes on MXenes predicted by hydrogen affinity. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 2020. Vol. 33. No. 33. P. 18622–18630. <https://doi.org/10.1039/D0CP02471F>.
- Periana R.A., Bhalla G., Tenn III W.J., Young K.J.H., Liu X.Y., Mironov O., Jones C.J., Ziatdinov V.R. Perspectives on some challenges and approaches for developing the next generation of selective, low temperature, oxidation catalysts for alkane hydroxylation based on the CH activation reaction. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. 2004. Vol. 220. No. 1. P. 7–25. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2004.05.036>.
- Shilov A.E., Shul'pin G.B. Activation of C–H Bonds by Metal Complexes. *Chemical Reviews*. 1997. Vol. 97. No. 8. P. 2879–2932. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/cr9411886>.
- Stewart J.J.P. Optimization of parameters for semiempirical methods VI: more modifications to the NDDO approximations and re-optimization of parameters. *Journal of Molecular Modeling*. 2013. Vol. 19. P. 1–32. <https://doi.org/10.1007/s00894-012-1667-x>.
- Stewart J.J.P. MOPAC 2016. Stewart Computational Chemistry. Colorado Springs. USA. 2016. [Electronic resource]. URL: <http://openmopac.net/MOPAC2016.html> (access date 27.12.2024).
- Volkova L.K., Opeida I.A. On the mechanisms of reactions of saturated hydrocarbons in sulfuric acid solutions of manganese(III)/manganese(II) and palladium(II) complexes. P. 313–325. *Chemical*

and biopharmaceutical technologies: collection of scientific papers / by general ed. V. Bessarabov and V. Lubenets. Tallinn: Nordic Sci Publisher, 2023. 392 p.

Zerella M., Kahros A., Bell A.T. Methane oxidation to acetic acid by Pd²⁺ cations in the presence of oxygen. *Journal of Catalysis*. 2006. Vol. 237. P. 111–117. <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2005.10.023>.

References

Volkova, L., & Opeida, I. (2024). Analiz mekhanizmu reaktsii n-alkaniv u sirchanokyslykh rozchynakh paladiiu (II) [Analysis of the mechanism of reactions of n-alkanes in palladium (II) sulfuric acid solutions]. *Zbirnyk naukovykh prats "Postup v naftohazopererobnii ta naftokhimichnii promyslovosti"* [Collection of scientific works "Advance in Petroleum and Gas Industry and Petrochemistry (APGIP-12)"]. Lviv, 61–65 [in Ukrainian].

Volkova, L.K., Opeida, I.A., & Anishchenko, V.M. (2024). Utvorennia podviinykh zviazkiv u dehidrohenizatsii tsykloheksanu [Formation of double bonds in the dehydrogenation of cyclohexane]. *Zbirnyk naukovykh prats VII Mizhnarodna (XVII Ukrainska) naukova konferentsiia "Khimichni problemy sohodennia"* [Collection of scientific works VII International (XVII Ukrainian) scientific conference "Current chemical problems"]. Vinnytsia, 107 [in Ukrainian].

Volkova, L., Opeida, L., & Pasternak, O. (2022). Mekhanizmy okycnoi funktsionalizatsii zviazkiv C–H n-alkaniv u sirchanokyslykh rozchynakh paladiiu(II) [Mechanisms of oxidative functionalization the bonds of C–H n-alkanes in palladium(II) sulfuric acid solutions]. *Zbirnyk naukovykh prats "Postup v naftohazopererobnii ta naftokhimichnii promyslovosti"* [Collection of scientific works "Advance in Petroleum and Gas Industry and Petrochemistry (APGIP-11)"]. Lviv, 49–52 [in Ukrainian].

Volkova, L.K. & Opeida, I.A. (2021). Aktyvatsiia zviazkiv C–H normalnykh alkaniv u sirchanokyslykh rozchynakh Mn(III)/Mn(II) [Activation of C–H bonds of normal alkanes in sulfuric acid solutions of Mn(III)/Mn(II)]. *Kataliz ta naftokhimiia* [Catalysis and Petrochemistry], 32, 75–85. <https://doi.org/10.15407/kataliz2021.32.075> [in Ukrainian].

Pombeiro, A.J.L., & Guedes da Silva, M.F.C. (ed.). (2019). Alkane Functionalization. John Wiley & Sons Ltd. ISBN: 9781119378808. DOI: 10.1002/9781119379256 [in English].

Anslyn, E.V., Dougherty, D.A. (2006). Modern physical organic chemistry. University Science Books Sausalito, California, 1095. [Electronic resource] URL: <https://uscibooks.aip.org/books/modern-physical-organic-chemistry/> (access date 27.12.2024) [in English].

Atkinson, R. (2003). Kinetics of the gas-phase reactions of OH radicals with alkanes and cycloalkanes. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 3, 2233–2307. <https://doi.org/10.5194/acp-3-2233-2003> [in English].

Chempath, S. and Bell, A.T. (2006). Density Functional Theory Analysis of the Reaction Pathway for Methane Oxidation to Acetic Acid Catalyzed by Pd²⁺ in Sulfuric Acid. *Journal of the American Chemical Society*, 128 (14), 4650–4657. <https://doi.org/10.1021/ja055756i> [in English].

Yu-Ran, Luo. (ed.) (2007). Comprehensive Handbook of Chemical Bond Energies. Taylor and Francis Group, LLC. 1688. <https://doi.org/10.1201/9781420007282> [in English].

Crabtree, R.H. (1995). Aspects of methane chemistry. *Chemical Reviews*, 95, 987–1007. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/cr00036a005> [in English].

Crabtree, R.H. (2010). Introduction to Selective Functionalization of C–H Bonds. *Chemical Reviews*, 110, 575. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/cr900388d> [in English].

Dalton, T., Faber, T., Glorius, F. (2021). C–H activation: toward sustainability and applications. *ACS Central Science*, 7 (2), 245–261. <https://doi.org/10.1021/acscentsci.0c01413> [in English].

Goldberg, K.I., Goldman, A.S. (2017). Large-Scale Selective Functionalization of Alkanes. *Accounts of Chemical Research*, 50, 620–626. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.accounts.6b00621> [in English].

Gunsalus, N.J., Koppaka, A., Park, S.H., Bischof, S.M., Hashiguchi, B.G., Periana, R.A. (2017). Homogeneous Functionalization of Methane. *Chemical Reviews*, 117, 8521–8573. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.chemrev.6b00739> [in English].

Gunsalus, N.J., Koppaka, A., Hashiguchi, B.G., Konnick, M.M., Park, S.H., Ess, D.H., Periana, R.A. (2020). SN2 and E2 Branching of Main-Group-Metal Alkyl Intermediates in Alkane CH Oxidation: Mechanistic Investigation Using Isotopically Labeled Main-Group-Metal Alkyls. *Organometallics*, 39, 1907–1916. <https://doi.org/10.1021/acs.organomet.0c00120> [in English].

Hartwig, J.F. (2016). Evolution of C–H Bond Functionalization from Methane to Methodology. *Journal of the American Chemical Society*, 138, 2–24. <https://doi.org/10.1021/jacs.5b08707> [in English].

- He, J., Wasa, M., Chan, K. S., Shao, Q., Yu, J.-Q. (2017). Palladium-catalyzed transformations of alkyl C–H bonds. *Chemical Reviews*, 117 (13), 8754–8786. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.chemrev.6b00622> [in English].
- King, C.R., Rollins, N., Holdaway, A., Konnick, M.M., Periana, R.A., Ess, D.H. (2018). Electrophilic Impact of High-Oxidation State Main-Group Metal and Ligands on Alkane C–H Activation and Functionalization Reactions. *Organometallics*, 37, 3045–3054. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.organomet.8b00418> [in English].
- King, C.R., Holdaway, A., Durrant, G., Wheeler, J., Suaava, L., Konnick, M. M., Periana, R.A., Ess, D.H. (2019). Supermetal: SbF₅-mediated methane oxidation occurs by C–H activation and isobutane oxidation occurs by hydride transfer. *Dalton Transactions*, 48, 17029–17036. <https://doi.org/10.1039/C9DT03564H> [in English].
- Konnick, M.M., Bischof, S.M., Yousufuddin, M., Hashiguchi, B.G., Ess, D.H., Periana, R. A. (2014). A Mechanistic Change Results in 100 Times Faster CH Functionalization for Ethane versus Methane by a Homogeneous Pt Catalyst. *Journal of the American Chemical Society*, 136, 10085–10094. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ja504368r> [in English].
- Koppaka, A., Gunsalus, N. J., Periana, R. A. (2020). “Homogeneous Methane Functionalization” chapter 12, 46 p. in book Hu B., Shekhawat D. Direct Natural Gas Conversion to Value-Added Chemicals. Pub. Location Boca Raton, Imprint CRC Press. – eBook ISBN 9780429022852; <https://doi.org/10.1201/9780429022852> [in English].
- Krämer, T., Gyton, M.R., Bustos, I., Sinclair, M.J.G., Tan, Sze-yin, Wedge, C.J., Macgregor, S.A., Chaplin, A.B. (2023). Stability and C–H Bond Activation Reactions of Palladium (II) and Platinum (II) Metalloradicals: Carbon-to-Metal H-Atom Transfer and an Organometallic Radical Rebound Mechanism. *Journal of the American Chemical Society*, 145, 14087–14100. <https://doi.org/10.1021/jacs.3c04167> [in English].
- Labinger, J.A. (2012). Alkane Functionalization via Electrophilic Activation. In: Alkane CH Activation by Single-Site Metal Catalysis. Springer, Dordrecht 17–71 https://doi.org/10.1007/978-90-481-3698-8_2 [in English].
- Na, H., Wessel, A.J., Kim, Seoung-Tae, Baik, Mu-Hyun, Mirica, L.M. (2024). Csp₃–H Bond Activation Mediated by a Pd (II) Complex under Mild Conditions. *Inorganic Chemistry Frontiers*, 11, 4415–4423. <https://doi.org/10.1039/D4QI01017E> [in English].
- NIST Chemistry WEBBook. [Electronic resource]. URL: <https://webbook.nist.gov/chemistry/> (access date 27.12.2024) <https://doi.org/10.18434/T4D303> [in English].
- Niu, K., Chi, L., Rosen, J., Björk, J. (2020). C–H activation of light alkanes on MXenes predicted by hydrogen affinity. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 22, 18622–18630. <https://doi.org/10.1039/D0CP02471F> [in English].
- Periana, R.A., Bhalla, G., Tenn III, W.J., Young, K.J.H., Liu, X.Y., Mironov, O., Jones, C.J., Ziatdinov, V.R. (2004). Perspectives on some challenges and approaches for developing the next generation of selective, low temperature, oxidation catalysts for alkane hydroxylation based on the CH activation reaction. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 220, 7–25. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2004.05.036> [in English].
- Shilov, A.E. & Shul'pin, G.B. (1997). Activation of C–H Bonds by Metal Complexes. *Chemical Reviews*, 97, 2879–2932. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/cr9411886> [in English].
- Stewart, J.J.P. (2013). Optimization of parameters for semiempirical methods VI: more modifications to the NDDO approximations and re-optimization of parameters. *Journal of Molecular Modeling*, 19, 1–32. <https://doi.org/10.1007/s00894-012-1667-x> [in English].
- Stewart, J.J.P. (2016). MOPAC 2016. Stewart Computational Chemistry. Colorado Springs. USA. [Electronic resource] URL: <http://openmopac.net/MOPAC2016.html> (access date 27.12.2024) [in English].
- Volkova, L.K., Opeida, I.A. (2023). On the mechanisms of reactions of saturated hydrocarbons in sulfuric acid solutions of manganese (III)/manganese (II) and palladium (II) complexes. P. 313–325. Chemical and biopharmaceutical technologies: collection of scientific papers / by general ed. V. Bessarabov and V. Lubenets. Tallinn: Nordic Sci Publisher, 392 [in English].
- Zerella, M., Kahros, A., Bell, A.T. (2006). Methane oxidation to acetic acid by Pd²⁺ cations in the presence of oxygen. *Journal of Catalysis*, 237, 111–117. <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2005.10.023> [in English].

Отримано: 27.01.2025

Прийнято: 14.02.2025



УДК 547.922.5 + 532.783

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.38>

ВИКОРИСТАННЯ ФОСФОНІЄВИХ СОЛЕЙ У СИНТЕЗІ НОВИХ НЕНАСИЧЕНИХ АМІДІВ

В. В. Листван¹

Досліджувалась взаємодія фосфонієвих солей, що містять у своєму складі амідну групу, з ароматичними альдегідами. Вивчалась можливість використання реакції Віттіга, що відбувається між альдегідами й алкіліденфосфоранами, утвореними за взаємодії відповідних фосфонієвих солей з основами, як методу отримання нових амідів ненасичених кислот. Даний клас речовин важливий з огляду на широкий спектр їхньої біологічної активності – інсектицидної, протигрибкової, антибактеріальної й акарицидної активності, протипухлинної, спазмолітичної дії тощо. Отримувані сполуки також є перспективними напівпродуктами для отримання різних нітогено- й оксигеновмісних гетероциклів: лактамів, лактонів, оксазолінів тощо. Отримано низку фосфонієвих солей, що містять N-алкіл- і N-арилзаміщені амідні групи, взаємодією трифенілфосфіну з амідами хлората бромовоютової кислот. Отримані солі вводились у реакцію з різними ароматичними альдегідами; досліджувались умови й особливості перебігу реакції Віттіга для амідовмісних фосфонієвих солей залежно від температури, середовища тощо. Показано, що дана реакція є перспективним методом синтезу ненасичених амідів. Її перевагами є легкість утворення продукту, невисока температура і, загалом, м'які умови, зокрема відсутність необхідності застосування їдких лугів у ролі основ. Це дає змогу вводити в реакцію складні альдегіди, зокрема такі, що містять естерні групи, без ризику їх гідролізу. Ще однією перевагою методу є можливість проведення синтезу в одну стадію, без виділення в індивідуальному стані поміжних продуктів – алкіліденфосфоранів. Опрацьована методика дала змогу отримати низку ненасичених аліфатично-ароматичних амідів, що містять у своєму складі структурні фрагменти, цікаві з огляду на потенційну фізіологічну активність – залишки анестезину, ізонікотинової кислоти тощо.

Ключові слова: алкіліденфосфоран, фосфонієва сіль, амід, реакція Віттіга.

AN APPLICATION OF PHOSPHONIUM SALTS FOR THE NEW UNSATURATED AMIDES SYNTHESIS

V. V. Lystvan

An interaction of phosphonium salts containing amide group with aromatic aldehydes have been investigated. The possibility of application of the Wittig reaction between aldehydes and alkylidenephosphoranes, formed in the interaction of the corresponding phosphonium salts with

¹ кандидат хімічних наук,
доцент кафедри хімії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: listvan@ukr.net
ORCID: 0000-0002-8366-2813

bases as a method for obtaining of new amides of the unsaturated acids have been studied. This class of substances is important due to the wide spectrum of their biological activity – insecticidal, antifungal, antibacterial and acaricidal activity, antitumor, antispasmodic action, etc. The obtained compounds also seem to be promising intermediates for obtaining various nitrogen- and oxygen-containing heterocycles: lactams, lactones, oxazolines, etc. A number of phosphonium salts containing *N*-alkyl and *N*-aryl substituted amide groups have been obtained by the interaction of triphenylphosphine with amides of chloro- and bromoacetic acids. The obtained salts have been put into reaction with various aromatic aldehydes; the conditions and features of the Wittig reaction for amide-containing phosphonium salts depending on the temperature, environment, etc. have been studied. It was shown that the reaction is a promising method for the synthesis of unsaturated amides. Its advantages are the ease of product formation, low temperature and, in general, mild conditions, particularly there is no need to use caustic alkalis as bases. That makes possible to use in the reaction complex aldehydes, particularly those containing ester groups, without the risk of their hydrolysis. Another advantage of the method is the possibility of carrying out the synthesis in one stage, without isolating of the intermediate products – alkylidenephosphoranes in an individual state. The developed technique made possible to obtain a number of unsaturated aliphatic-aromatic amides containing structural fragments of interest for their potential physiological activity – fragments of anestezin, isonicotinic acid, etc.

Key words: alkylidenephosphorane, phosphonium salt, amid, Wittig reaction.

Вступ

Ненасичені аміди. Аміди ненасичених карбонових кислот становлять інтерес для дослідників як проміжні продукти в синтезі інших нітрогеновмісних органічних сполук, зокрема гетероциклів, а також завдяки своїм власним практично цінним властивостям. Лікувальні властивості цілої низки лікарських рослин значною мірою зумовлені саме вмістом ненасичених амідів.

Притаманний даному класу сполук широкий спектр біологічної активності варіюється від високої інсектицидної токсичності до значної протигрибкової, антибактеріальної, протипротозойної, молюскоцидної, церкацидної й акарицидної активності (Greger, 2016), протипухлинної, спазмолітичної дії тощо (Kumar et al., 2018). Серед них виявлено також речовини, що діють як стимулятори росту рослин.

Протизапальні та знеболювальні властивості рослин родини перцевих і капустяних (хрестоцвітих), а також рутових значною мірою зумовлені вмістом у них амідів ненасичених кислот.

Нещодавні дослідження (Yan et al., 2024) виявили притаманну даному класу сполук протигрибкову (фунгіцидну) активність, зокрема щодо грибків роду *Candida*, що є стійкими щодо широко відомих фунгіцидів – похідних азолів.

Представники ненасичених амідів, що були виявлені в екстрактах ехінацеї, характеризуються помітною протизапальною активністю (Moazami et al., 2015). Інші α,β -ненасичені аміди, виділені з рослин родини перцевих, та їх синтетичні аналоги

показали себе як речовини з вираженою інсектицидною дією (Strunz, 2000).

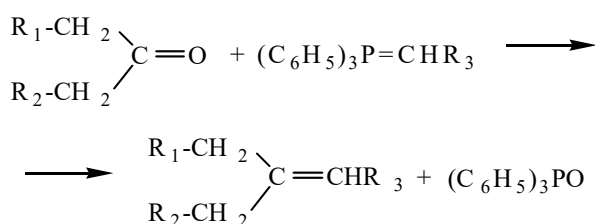
Деякі представники синтетичних α,β -ненасичених амідів виявили високу протитуберкульозну (антимікобактеріальну) активність за одночасної відсутності характерної для деяких препаратів такого роду гепатотоксичності (Avalos-Alanís et al., 2017). Інші нові синтезовані ненасичені аміди мають здатність до ДНК-інтеркаляції і потенційно можуть використовуватися для маркування ДНК (Esmailzadeh et al., 2016).

Практична цінність ненасичених амідів полягає також у можливості їх використання як вихідних речовин у синтезі органічних сполук інших класів. Зокрема, є інформація про їх застосування в асиметричному синтезі. Наприклад, енантіоселективне гідроалкілювання (Zhou & Zhu, 2021), або гідроалкінілювання (Cheng et al., 2022), α,β -ненасичених амідів дозволяє отримати відповідні похідні із заданою конфігурацією хірального центру у β -положенні щодо карбонільної групи. А взаємодія β,γ -ненасичених амідів з ізатинами в умовах асиметричного каталізу дозволяє отримувати продукти, придатні для подальшого перетворення на хіральні поліфункціональні 3-гідрокси-2-оксоіндоли (Hu et al., 2024).

Відомо, що ненасичені аміди як сполуки, що містять два нуклеофільні центри, охоче вступають у реакції електрофільної гетероциклізації, що дозволяє отримувати розмаїття нітогено- й оксигеновмісних гетероциклів: лактамів, лактонів, оксазолінів тощо (Robin & Rousseau, 1998; Цизорик та ін., 2015). Електрохімічне окиснювальне гало-

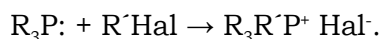
генування β, γ -ненасичених амідів із подальшою циклізацією дозволило отримувати нові оксазоліни (Mallick et al., 2020).

Реакція Віттіга. Одним з ефективних методів отримання ненасичених сполук із подвійним зв'язком $C=C$ є відкрита Георгом Віттігом у 1954 р. реакція між карбонільними сполуками (передусім альдегідами) та ілідами фосфору. Незважаючи на тривалий час, що відтоді минув, реакція Віттіга знаходить усе нові сфери застосування в органічному синтезі (Takeda, 2004; Karanam et al., 2018). Це зумовлено низкою переваг даного методу, зокрема й м'якими умовами перебігу реакції, що робить її придатною (а подекуди єдиною можливою) для отримання хімічно активних аналогів таких природних сполук, як метиленові стероїди, каротиноїди тощо (Freidzon et al., 1982). Іншою перевагою реакції є її стереоспецифічність, що дозволяє уникнути утворення суміші ізомерних алкенів:

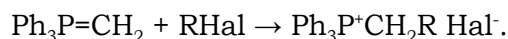


Можливості реакції дозволяють застосовувати її для отримання не лише ненасичених вуглеводнів, але і складних заміщених похідних, як-от ненасичені карбонові кислоти, їх естери, вінілові етери тощо (Heravi et al., 2020).

Фосфонієві солі. Фосфонієві солі – похідні фосфоній-катиона, заміщеного одним чи кількома вуглеводневими, алкоксильними, ацильними тощо залишками. Сполуки даного класу переважно отримують взаємодією третинних фосфінів як нуклеофілів з алкільними чи арильними галогенпохідними:



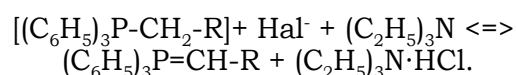
Можливе також отримання фосфонієвих солей з ілідів фосфору їх алкілюванням під дією алкілгалогенідів:



Цей метод, однак, на практиці застосовується рідко, оскільки відповідні фосфоріліди, навпаки, переважно отримують, виходячи з фосфонієвих солей.

Висока та різноманітна хімічна активність фосфонієвих солей робить їх важли-

вими напівпродуктами в синтезі органічних сполук різних класів (Nogoozi-Shad et al., 2022). У даному разі важливою є можливість їх перетворення на фосфоріліди, які, у свою чергу, вступають з альдегідами в реакцію Віттіга й утворюють алкеновий подвійний зв'язок. Взаємодія солей фосфонію з основами, що супроводжується відщепленням гідрогенгалогенідів, приводить до утворення ілідів фосфору, або ж алкіліденфосфоранів, – речовин, що характеризуються подвійним зв'язком $C=P$, які можуть взаємодіяти з альдегідами за реакцією Віттіга, утворюючи похідні алкенів. Однак не всі алкіліденфосфорани є стійкими за звичайних умов, і це перешкоджає їх виділенню в індивідуальному стані. Подолати ці труднощі дозволяє оборотна реакція взаємодії фосфонієвої солі із третинними амінами з утворенням відповідного фосфорану:



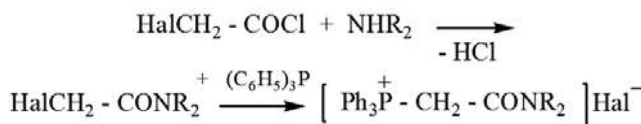
Завдяки цьому можна вводити в реакцію фосфонієву сіль і альдегід із додаванням триетиламіну. Утворений фосфорілід відразу вступає в реакцію з альдегідом, що дозволяє уникнути його виділення у вільному стані.

Матеріал і методи

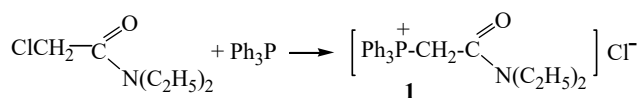
У даній роботі досліджено можливість отримання фосфонієвих солей, що містять амідну групу, і їх подальшого використання як напівпродуктів для синтезу нових ненасичених амідів шляхом взаємодії з різними альдегідами за реакцією Віттіга, без виділення проміжних продуктів – алкіліденфосфоранів. Отримані аміди ненасичених кислот можуть бути використані для одержання нітрогенвмісних гетероциклів, або ж бути цікавими як потенційні біологічно активні сполуки.

Результати та обговорення

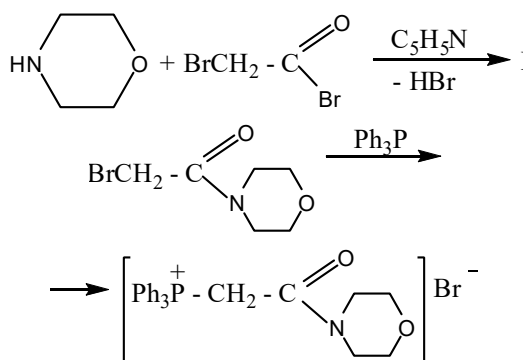
Для отримання фосфонієвих солей, що містять алкіл- чи арилзаміщену амідну групу, ми застосували ацилювання первинних і вторинних амінів ацилгалогенідами хлороетанової чи бромоетанової кислот. Утворені хлоро- чи бромоецетаміди взаємодіють із трифенілфосфіном, утворюють відповідні фосфоній галогеніди. Остання реакція відбувається за незначного нагрівання в бензені або толуені:



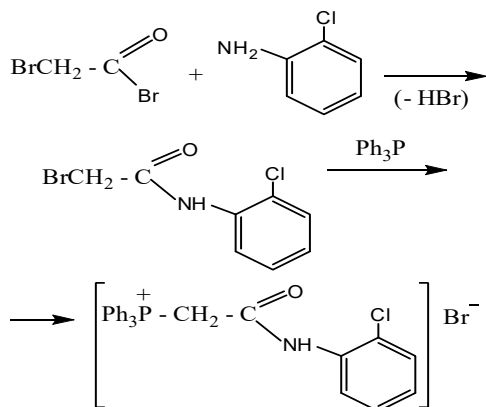
Серед отриманих фосфонієвих солей з алкільними залишками в амідній групі ваврто назвати N,N-діетиламінокарбонілметилтрифенілфосфоній хлорид: **(1)**



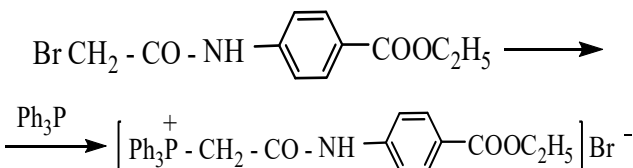
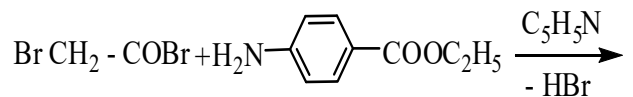
Також варто відзначити отримання ФС **(2)**, що містить залишок морфоліну. Вона утворюється за взаємодії із трифенілфосфіном отриманого раніше бромоацетилморфоліду:



Заміна алкільних замісників на ароматичні цикли помітно не впливає на легкість перебігу реакції і не потребує істотної зміни умов її проведення. Відповідні фосфонієві солі **(3)** та **(4)** були отримані в результаті дії на трифенілфосфін N-(2-хлорофеніл)- та N-(2-метил-5-нітрофеніл)бромоацетамідів:



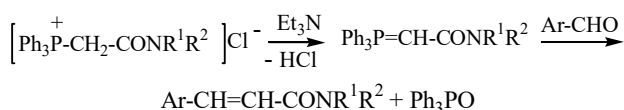
p-амінобензойна кислота та низка її похідних досить широко розповсюджені в живій природі, а також завдяки своїй різнобічній біологічній активності застосовуються у фармакології. Реакцією бромоацетилброміду з етил-4-амінобензоатом, відомим під назвою анестезин, і наступною взаємодією утвореного амідів із трифенілфосфіном ми одержали фосфонієву сіль **(5)**, що містить фрагмент молекули анестезину:



Отримана сполука може слугувати напівпродуктом для подальшого отримання ненасичених похідних анестезину – сполук, цікавих з огляду на їхню потенційну фізіологічну дію.

Наступним етапом дослідження стало застосування отриманих амідних фосфонієвих солей для отримання на їхній основі ненасичених амідів із застосуванням реакції Віттіга. Взаємодія фосфонієвих солей з основами приводить до утворення ілідів фосфору, які можуть реагувати з карбонільними сполуками з утворенням зв'язку C=C. Використовувався вже описаний метод (Листван та ін., 2022), що полягає у введенні в реакцію як вихідних сполук фосфонієвої солі й альдегіду у присутності триетиламіну як основи; проміжний продукт – фосфорілід – не виділяється у вільному стані. Перевагою такого підходу є значне зниження витрати часу (уникнення процедури виділення й очищення речовини), проте важливішим є той факт, що не всі іліди фосфору взагалі є стабільними за нормальних умов, тому для деяких видів синтезу метод є єдино прийнятним.

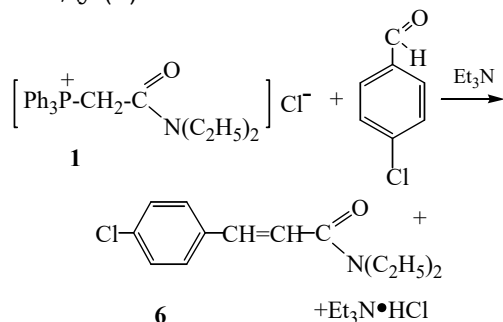
Реакція відбувається в досить м'яких умовах, переважно за кімнатної температури, лише в деяких випадках знадобилось слабе нагрівання. Дана обставина є важливою в разі застосування в реакції складних альдегідів, що містять естерну групу, оскільки за нагрівання в основному середовищі остання може гідролізуватись. Зручними розчинниками для проведення реакції виявились нижчі спирти (етанол, 2-пропанол), що добре розчиняють вихідну фосфонієву сіль, натомість утворені в результаті реакції амідів випадають в осад. Будову отриманих сполук підтверджували методом ПМР-спектроскопії.



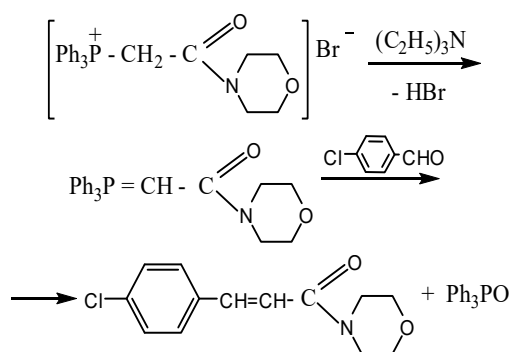
З використанням отриманих фосфонієвих солей ми здійснили синтез низки

N-алкіл- і N-арилзаміщених амідів ненасичених кислот.

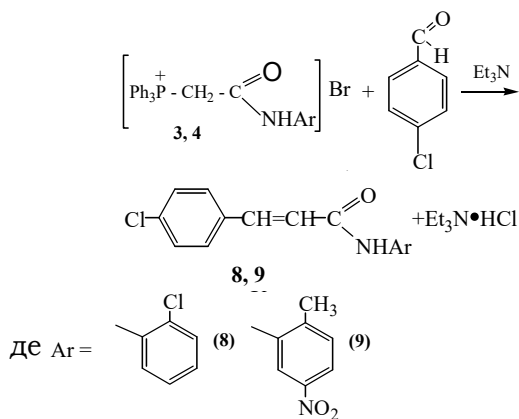
Так, згадана вище фосфонієва сіль (**1**), що містить N, N-діетиламідну групу, з ароматичними альдегідами у присутності триетиламіну утворює діетиламиди заміщених коричневих кислот. Нижче наведена схема реакції із 4-хлоробензальдегідом з утворенням амиду (**6**):



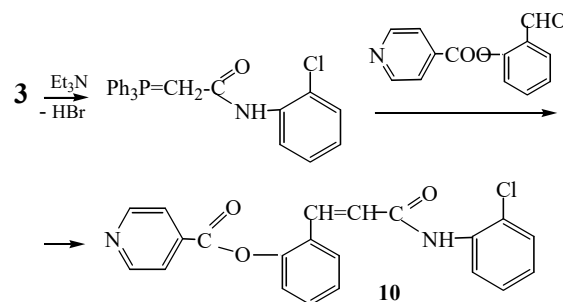
Аналогічним чином з ароматичними альдегідами реагують N-морфолінкарбонілметилтрифенілфосфоній галогеніди (**2**), завдяки цьому вдалось реакцією з 5-нітросаліциловим альдегідом отримати морфолід 2-гідрокси-5-нітрозаміщеної коричної кислоти (**7**):



Утворення N-арилзаміщених амідів (напр., **8** та **9**) також відбувається порівняно легко, хоча інколи потребує слабкого нагрівання:

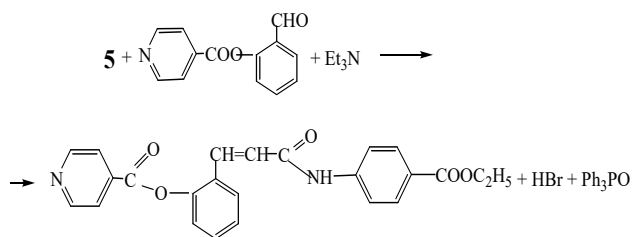


Порівняно м'які умови проведення реакції (невисока температура, відсутність сильнолужного середовища) дозволяють використовувати в ній складніші альдегіди, зокрема такі, що містять у своєму складі естерну групу, без ризику піддати останню небажаному гідролізу. Зокрема, проведено реакцію фосфонієвої солі (**3**) із 2-ізонікотинілоксибензальдегідом:



Поєднання в молекулі амиду (**10**) фрагментів о-хлороаніліну, саліцилового альдегіду, коричної кислоти й ізонікотинової кислоти робить перспективним його подальше дослідження з огляду на можливу біологічну активність.

Одним із напрямів пошуку нових речовин із потенційною фізіологічною активністю є отримання нових похідних на основі вже відомих фармацевтичних препаратів. Зокрема, застосування в реакції Віттіга фосфонієвої солі (**5**) дало змогу отримувати нові амідні похідні широковідомого місцевоанестезуючого засобу анестезину (бензокаїну):



Експериментальна частина Фосфонієві солі: N,N-діетиламінокарбонілметилтрифенілфосфоній хлорид (**1**)

Mr-376; m – 6,43 г; Tпл 169 °; η – 57%
n (аміду) = 0,03 моль; n (ТФФ) = 0,03 моль
7,68 г трифенілфосфіну та 4,49 г діетилацетаміду розчинили у 20 мл толуену за кімнатної температури, водночас майже відразу спостерігалось утворення осаду. Для завершення реакції реакційну суміш залишили на добу за кімнатної температури. Відфільтрований оліїстий осад помаранче-

вого кольору відфільтрували, очищували перекристалізацією із 2-пропанолу.

N-морфоліалкарбонілметилтрифеніл-фосфоній бромід (2)

Mr – 390; m – 3.42 г; T_{пл} 206–207 °; η – 29%
n (аміду) = 0,03 моль; n (ТФФ) = 0,03 моль
Методика отримання аналогічна реч. 1

N-(2-хлорофеніл)амінокарбонілметил-трифенілфосфоній хлорид (3) та

N-(2-метил-5-нітрофеніл)амінокарбонілметилтрифенілфосфоній хлорид (4)

Mr – 455; m – 3,28 г; T_{пл} 135 °; η – 36% (3)

Mr – 430,5; m – 1,9 г; T_{пл} 105 °; η – 20% (4)

n (аміду) = 0,02 моль; n (ТФФ) = 0,02 моль

Відповідний амід хлороетанової кислоти та трифенілфосфін розчиняли при нагріванні у 30 мл толуену. Реакційну суміш нагрівали зі зворотним холодильником протягом 3 год. Після охолодження утворений осад жовтого кольору відфільтровували, промивали толуеном і висушували.

N-[4-(етилоксикарбоніл)феніл]амінокарбонілметилтрифенілфосфоній бромід (5)

Mr – 467; m – 11,8 г; T_{пл} 210–212 °;
η – 67% (4)

n (аміду) = 0,04 моль; n (ТФФ) = 0,04 моль

10,5 г трифенілфосфіну розчинили при нагріванні в 50 мл толуену, до розчину додали 11,5 г бромоацетиланестезину. Нагрівали з перемішуванням за температури 60–70 °C протягом години. Осад відфільтрували, промивали, кристалізували із 2-пропанолу.

Ненасичені амід:

N,N-діетил-2-хлорофенілпропенамід (6)

Морфолід 2-гідроксид-5-нітрокоричної кислоти (7)

Mr – 237,5; m – 0,23 г; T_{пл} 145–147 °;
η – 56% (6)

Mr – 278; m – 0,33 г; T_{пл} 86–88 °; η – 60% (7)

n (альдегіду) = 0,002 моль; n (ФС) = 0,002 моль

0,002 моль фосфонієвої солі розчинили у 20 мл 2-пропанолу. До отриманого розчину додали еквімолярну кількість відповідного альдегіду й 0,4 мл триетиламіну. Розчин

залишили на добу за кімнатної температури. Продукт реакції осаджували з реакційного розчину додаванням 20 мл води, відфільтрували і промили.

N-(2-метил-5-нітрофеніл)-3-(4-хлорофеніл)пропенамід (9)

Mr – 388,5; m – 0,13 г; T_{пл} ≈ 60 °; η – 39,6%
n (альдегіду) = 0,001 моль; n (ФС) = 0,001 моль

0,5 г фосфонієвої солі (4) розчинили при слабкому нагріванні в 10 мл 2-пропанолу, додали 4-хлоробензальдегід і 0,7 мл (надлишок) триетиламіну. Майже відразу спостерігали початок утворення осаду. Реакційну суміш залишили на 24 години, осад відфільтрували, промили 2-пропанолом і висушили.

N-(2-хлорофеніл)-3-(2-ізонікотиноїлоксифеніл)пропенамід (10)

Mr – 378,5; m – 0,13 г; T_{пл} ≈ 151–154 °;
η – 54,5%

n (альдегіду) = 0,003 моль; n (ФС) = 0,003 моль

1,3 г фосфонієвої солі (3) розчинили в 10 мл 2-пропанолу, додали 0,68 г альдегіду й 0,8 мл триетиламіну. Драглистий осад, що випав, відфільтрували і промили водним розчином 2-пропанолу, сушили.

Висновки

Досліджено можливість застосування фосфонієвих солей, що містять амідну групу, як вихідних сполук для отримання амідів ненасичених карбонових кислот. Доведено перспективність реакції Віттіга як методу синтезу ненасичених амідів.

Опрацьовано методики отримання амідів заміщених похідних коричної кислоти та її аналогів взаємодією ароматичних альдегідів із відповідними фосфонієвими солями. Показана можливість проведення реакцій в одну стадію, без виділення у вільному стані проміжних продуктів – ілідів фосфору.

Отримано низку нових ненасичених аліфатично-ароматичних амідів, зокрема й таких, що містять структурні фрагменти відомих біологічно активних сполук.

Список використаної літератури

Листван В.В., Жмурчук А.В., Листван В.М. Синтез потенційних рідких кристалів з холестеринним фрагментом за реакцією Віттіга. *Український журнал природничих наук*. 2022. № 2. С. 143–154. <https://doi.org/10.35433/naturaljournal.2.2023.144-154>.

Цизорик Н.М., Василькевич А.І., Вовк М.В. Гетероциклізації амідів алкеніалкарбонових кислот. *Журнал органічної та фармацевтичної хімії*. 2015. Т. 13. № 2 (50). С. 3–29.

Avalos-Alanís F.G., Hernández-Fernández E., Carranza-Rosales P. Synthesis, antimycobacterial and cytotoxic activity of α,β-unsaturated amides and 2,4-disubstituted oxazoline derivatives. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*. 2017. V. 27. № 4. P. 821–825. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2017.01.024>.

- Cheng Y., Gui Z., Tao R., Wang Y., Zhu S. NiH-catalyzed asymmetric hydroalkynylation of α , β -unsaturated amides. *Green Synthesis and Catalysis*. 2022. Vol. 3. I. 4. P. 377–379. <https://doi.org/10.1016/j.gresc.2022.03.009>.
- Esmailzadeh K., Housaindokht M.R., Moradi A., Esmaeili A.A., Sharifi Z. Synthesis, characterization and biological evaluation of novel α , β unsaturated amides. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2016. Vol. 161. P. 170–177. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2016.03.002>.
- Freidzon J.S., Kharitonov A.V., Shibaev V.P., Plate N.A. Liquid-Crystalline State of Cholesterol-Containing Monomers. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 1982. Vol. 88. № 1/4. P. 87–97. <https://doi.org/10.1080/00268948208072588>.
- Greger H. Alkamides: a critical reconsideration of a multifunctional class of unsaturated fatty acid amides. *Phytochemistry Reviews*. 2016. Vol. 15. P. 729–770. <https://doi.org/10.1007/s11101-015-9418-0>.
- Heravi M.M., Zadsirjan V., Daraie M., Ghanbarian M. Applications of Wittig Reaction in the Total Synthesis of Natural Macrolides. *Chemistry Select*. 2020. Vol. 5. I. 31. P. 9654–9690. <https://doi.org/10.1002/slct.202002192>.
- Hu J.-I., Fu Y.-H., Li T.-Z., Sha F., Wu X.-Y. Enantioselective vinylogous aldol reaction between β , γ -unsaturated amides and isatins. *New Journal of Chemistry*. 2024. I. 29. P. 13126–13130. <https://doi.org/10.1039/D4NJ01147C>.
- Karanam P., Reddy G.M., Lin W. Strategic exploitation of the Wittig reaction: Facile synthesis of heteroaromatics and multifunctional olefins. *Synlett*. 2018. Vol. 29 (20). P. 2608–2622. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1610486>.
- Kumar V., Bhatt V., Kumar N. Chapter 9 – Amides from Plants: Structures and Biological Importance. *Studies in Natural Products Chemistry*. 2018. Vol. 56. P. 287–333. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64058-1.00009-1>.
- Mallick S., Baidya M., Mahanty K., Maiti D., De Sarkar S. Electrochemical Chalcogenation of β , γ -Unsaturated Amides and Oximes to Corresponding Oxazolines and Isoxazolines. *Advanced Synthesis & Catalysis*. 2020. Vol. 362. I. 5. P. 1046–1052. <https://doi.org/10.1002/adsc.201901262>.
- Moazami Y., Gullledge T.V., Laster S.M., Pierce Y.G. Synthesis and biological evaluation of a series of fatty acid amides from Echinacea. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*. 2015. Vol. 25. I. 16. P. 3091–3094. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2015.06.024>.
- Noroozi-Shad N., Gholizadeh M., Sabet-Sarvestani H. Quaternary phosphonium salts in the synthetic chemistry: Recent progress, development, and future perspectives. *Journal of Molecular Structure*. 2022. № 1257. P. 132628. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2022.132628>.
- Robin S., Rousseau G. Electrophilic cyclization of unsaturated amides. *Tetrahedron*. 1998. Vol. 54. I. 45. P. 13681–13736. [https://doi.org/10.1016/S0040-4020\(98\)00698-X](https://doi.org/10.1016/S0040-4020(98)00698-X).
- Strunz G.M. Unsaturated Amides from Piper Species (Piperaceae). *Studies in Natural Products Chemistry*. 2000. Vol. 24. Part E. P. 683–738. [https://doi.org/10.1016/S1572-5995\(00\)80053-8](https://doi.org/10.1016/S1572-5995(00)80053-8).
- Takeda T. Modern carbonyl olefination-methods and applications. *Synthesis*. 2004. Vol. 9. P. 1532–1532.
- Yan Z., Li Q., Li X., Wang H. Discovery of Novel α , β -Unsaturated Amide Derivatives as Candidate Antifungals to Overcome Fungal Resistance. *Journal of Medicinal Chemistry*. 2024. Vol. 67. I. 15. P. 12601–12617. <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.4c00593>.
- Zhou F., Zhu S. Catalytic Asymmetric Hydroalkylation of α , β -Unsaturated Amides Enabled by Regio-Reversed and Enantiodifferentiating syn-Hydronickellation. *ACS Catalysis*. 2021. Vol. 11. I. 14. P. 8766–8773. <https://doi.org/10.1021/acscatal.1c02299>.

References

- Lystvan, V.V., Zhmurchuk, A.V., & Lystvan, V.M. (2022). Syntez potentsiynych ridkykh krystaliv z kholesterylovym frahmentom za reaktsiyeu Vittiha [Synthesis of potential liquid crystals with cholesteryl fragment by Wittig reaction]. *Ukrayinskyj zhurnal pryrodnych nauk [Ukrainian journal of natural sciences]*, 2, 143–154. <https://doi.org/10.35433/naturaljournal.2.2023.144-154> [in Ukrainian].
- Cyzoryk, N.M., Vaskevych, A.I. & Vovk, M.V. (2015). Heterocyklizatsii amidiv karbonovykh kyslot [Heterocyclization of amides of carbocyclic acids]. *Zhurnal organichnoyi ta farmatsevtichnoyi khimii [Journal of organic and pharmaceutical chemistry]*, 13 (2), 3–29 [in Ukrainian].

- Avalos-Alanis, F.G., Hernández-Fernández, E., & Carranza-Rosales, P. (2017). Synthesis, antimycobacterial and cytotoxic activity of α , β -unsaturated amides and 2,4-disubstituted oxazoline derivatives. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 27 (4), 821–825. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2017.01.024> [in English].
- Cheng, Y., Gui, Z., Tao, R., Wang, Y., & Zhu, S. (2022). NiH-catalyzed asymmetric hydroalkylation of α , β -unsaturated amides. *Green Synthesis and Catalysis*, 3 (4), 377–379. <https://doi.org/10.1016/j.gresc.2022.03.009> [in English].
- Esmailzadeh, K., Housaindokht, M.R., Moradi, A., Esmaeili, A.A., & Sharifi, Z. (2016). Synthesis, characterization and biological evaluation of novel α , β -unsaturated amides. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 161, 170–177. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2016.03.002> [in English].
- Freidzon, J.S., Kharitonov, A.V., Shibaev, V.P., & Plate, N.A. (1982). Liquid-Crystalline State of Cholesterol-Containing Monomers. *Mol. Cryst. Liq. Cryst*, 88 (1/4), 87–97. <https://doi.org/10.1080/00268948208072588.88> [in English].
- Greger, H. (2016). Alkamides: a critical reconsideration of a multifunctional class of unsaturated fatty acid amides. *Phytochemistry Reviews*, 15, 729–770. <https://doi.org/10.1007/s11101-015-9418-0> [in English].
- Heravi, M.M., Zadsirjan, V., Daraie, M., & Ghanbarian, M. (2020). Applications of Wittig Reaction in the Total Synthesis of Natural Macrolides. *Chemistry Select*, 5 (31), 9654–9690. <https://doi.org/10.1002/slct.202002192> [in English].
- Hu, J.-I., Fu, Y.-H., Li, T.-Z., Sha, F., & Wu, X.-Y. (2024). Enantioselective vinylogous aldol reaction between β , γ -unsaturated amides and isatins. *New Journal of Chemistry*, 29, 13126–13130. <https://doi.org/10.1039/D4NJ01147C> [in English].
- Karanam, P., Reddy, G.M., & Lin, W. (2018). Strategic exploitation of the Wittig reaction: Facile synthesis of heteroaromatics and multifunctional olefins. *Synlett*, 29 (20), 2608–2622. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1610486> [in English].
- Kumar, V., Bhatt, V., & Kumar, N. (2018). Chapter 9 – Amides From Plants: Structures and Biological Importance. *Studies in Natural Products Chemistry*, 56, 287–333. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64058-1.00009-1> [in English].
- Mallick, S., Baidya, M., Mahanty, K., Maiti, D., & De Sarkar, S. (2020). Electrochemical Chalcogenation of β , γ -Unsaturated Amides and Oximes to Corresponding Oxazolines and Isoxazolines. *Advanced Synthesis & Catalysis*, 362 (5), 1046–1052. <https://doi.org/10.1002/adsc.201901262> [in English].
- Moazami, Y., Gullledge, T.V., Laster, S.M., & Pierce, Y.G. (2015). Synthesis and biological evaluation of a series of fatty acid amides from *Echinacea*. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 25 (16), 3091–3094. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2015.06.024> [in English].
- Noroozi-Shad, N., Gholizadeh, M., & Sabet-Sarvestani, H. (2022). Quaternary phosphonium salts in the synthetic chemistry: Recent progress, development, and future perspectives. *Journal of Molecular Structure*, 1257, 132628. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2022.132628> [in English].
- Robin, S., & Rousseau, G. (1998). Electrophilic cyclization of unsaturated amides. *Tetrahedron*, 54 (45), 13681–13736. [https://doi.org/10.1016/S0040-4020\(98\)00698-X](https://doi.org/10.1016/S0040-4020(98)00698-X) [in English].
- Strunz, G.M. (2000). Unsaturated Amides from *Piper* Species (*Piperaceae*). *Studies in Natural Products Chemistry*, 24 (Part E), 683–738. [https://doi.org/10.1016/S1572-5995\(00\)80053-8](https://doi.org/10.1016/S1572-5995(00)80053-8) [in English].
- Takeda, T. (2004). Modern carbonyl olefination-methods and applications. *Synthesis*, 9, 1532–1532 [in English].
- Yan, Z., Li, Q., Li, X., & Wang, H. (2024). Discovery of Novel α,β -Unsaturated Amide Derivatives as Candidate Antifungals to Overcome Fungal Resistance. *Journal of Medicinal Chemistry*, 67 (15), 12601–12617. <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.4c00593> [in English].
- Zhou, F., & Zhu, S. (2021). Catalytic Asymmetric Hydroalkylation of α,β -Unsaturated Amides Enabled by Regio-Reversed and Enantiodifferentiating syn-Hydronickellation. *ACS Catalysis*, 11(14), 8766–8773. <https://doi.org/10.1021/acscatal.1c02299> [in English].

Отримано: 15.01.2025
Прийнято: 04.02.2025



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 11
Український журнал природничих наук
№ 11

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

УДК 621.794.4:546.47/49'24

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.39>

**ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАВНИКІВ $K_2CR_2O_7$ – HBR – ЛАКТАТНА КИСЛОТА
ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ ТОНКИХ ШАРІВ З ПОВЕРХНІ $CDTE$ ТА $ZN_xCD_{1-x}TE$**

**М. В. Чайка¹, О. М. Камінський², Р. О. Денисюк³, В. М. Томашик⁴, Ю. Ю. Чайка⁵,
Д. Ю. Панасюк⁶**

¹ кандидат хімічних наук, доцент,

доцент кафедри хімії

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

e-mail: laridae92@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5356-9856

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 доктор хімічних наук, професор,

професор кафедри хімії

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

провідний науковий співробітник відділу хімії і технології напівпровідників (Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, м. Київ)

e-mail: tomashyk@isp.kiev.ua

ORCID: 0000-0002-5698-7903

⁵ кандидат біологічних наук,

старший викладач кафедри медико-біологічних дисциплін

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

e-mail: juli7110308@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3965-6088

⁶ заступник завідувача відділу досліджень матеріалів, речовин і виробів – завідувач сектору фізико-хімічних досліджень

(Житомирський НДЕКЦ МВС України, м. Житомир),

асистент кафедри хімії

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

e-mail: dima.panasuk261195@gmail.com

ORCID: 0009-0005-9490-1823

У роботі досліджено закономірності хіміко-динамічного полірування поверхні монокристалів CdTe та твердих розчинів $Zn_xCd_{1-x}Te$ ($x = 0,04$ і $0,1$) у водних розчинах системи $K_2Cr_2O_7 - HBr$ – лактатна кислота.

Вперше у відтворюваних гідродинамічних умовах за допомогою методу диску, що обертається, досліджено кінетичні закономірності процесу розчинення поверхні напівпровідників у цих розчинах. За результатами досліджень методом математичного планування експерименту на симплексі побудовано діаграми «склад розчину – швидкість полірування» монокристалів у травильних композиціях системи $K_2Cr_2O_7 - HBr$ – лактатна кислота та встановлено концентраційні межі полірувальних та неполірувальних розчинів.

Визначено вплив лактатної кислоти та природи напівпровідників на закономірності хімічного розчинення та стан полірованої поверхні CdTe, $Zn_{0,04}Cd_{0,96}Te$ і $Zn_{0,1}Cd_{0,9}Te$. Встановлено, що під час полірування твердих розчинів $Zn_xCd_{1-x}Te$ із застосуванням розроблених травильних композицій збільшення вмісту Zn у складі напівпровідників призводить до підвищення швидкості розчинення, розширення меж полірувальних ділянок та покращення якості полірованої поверхні.

За результатами кінетичних досліджень доведено, що фізико-хімічна взаємодія напівпровідників із полірувальними травниками лімітується стадією дифузії. З'ясовано, що розроблені травильні композиції не втрачають полірувального ефекту тривалий час (до 10 днів), а швидкість полірування зменшується незначно.

Створено серію нових повільних полірувальних травників, розроблено оптимальні режими проведення процесу хіміко-динамічного полірування та методику ефективної промивки полірованих пластин після різних етапів обробки.

Методами металографічного, профілометричного аналізів та атомно-силової мікроскопії досліджено стан поверхні зразків після обробки та доведено, що полірування розробленими травильними розчинами сприяє формуванню надгладкої ($R_a \leq 10$ нм) поверхні монокристалів CdTe та твердих розчинів $Zn_xCd_{1-x}Te$.

Ключові слова: хімічне розчинення, тверді розчини, кадмію телурид, монокристали, травник, швидкість розчинення, хіміко-динамічне полірування.

OPTIMIZATION OF ETCHANT $K_2Cr_2O_7 - HBr$ – LACTIC ACID FOR REMOVING THIN LAYERS FROM THE SURFACE OF CDTE AND $Zn_xCd_{1-x}Te$

M. V. Chayka, O. M. Kaminskiy, R. O. Denysiuk, V. M. Tomashyk,
Yu. Yu. Chayka, D. U. Panasiuk

In the work, the regularities of chemical-dynamic polishing of the surface of CdTe single crystals and $Zn_xCd_{1-x}Te$ solid solutions ($x = 0.04$ and 0.1) in aqueous solutions of the system $K_2Cr_2O_7 - HBr$ – lactic acid were investigated. For the first time, the kinetic regularities of the dissolution process of semiconductor surfaces in these solutions were revealed under reproducible hydrodynamic conditions using the rotating disk method. The diagrams “solution composition – polishing rate” of single crystals in the etching compositions of the system $K_2Cr_2O_7 - HBr$ – lactic acid were constructed using the method of mathematical planning of the experiment on a simplex based on the research results, and the concentration limits of polishing and non-polishing solutions were established.

The influence of lactic acid and the nature of semiconductors on the dissolution regularities and state of polished surface of CdTe, $Zn_{0,04}Cd_{0,96}Te$, and $Zn_{0,1}Cd_{0,9}Te$ was determined. It was found that during the polishing of $Zn_xCd_{1-x}Te$ solid solutions using the developed etching compositions, an increase in Zn content in the semiconductor leads to higher dissolution rates, broader polishing area boundaries, and improved polished surface quality.

Kinetic studies confirmed that the physicochemical interaction of semiconductors with polishing etchants is diffusion-limited. It was revealed that the developed etching compositions retain their polishing effect over an extended period (up to 10 days), with only a slight decrease in the polishing rate.

A series of new slow polishing etchants was created, optimal parameters of CDP process were developed, and an effective method for washing polished samples after different processing stages was proposed. The surface condition of the samples after treatment was investigated by metallographic, profilometric analyses and atomic force microscopy. It was demonstrated that polishing with the developed etching solutions contributes to the formation of super-smooth ($R_a \leq 10$ nm) surface for CdTe single crystals and $Zn_xCd_{1-x}Te$ solid solutions.

Key words: chemical dissolution, solid solutions, cadmium telluride, single crystals, etchant, dissolution rate, chemical-dynamic polishing.

Вступ

Напівпровідникові матеріали типу $A^{II}B^{VI}$, зокрема $CdTe$ та тверді розчини $Zn_xCd_{1-x}Te$, вирізняються широким спектром фізико-хімічних властивостей, що робить їх надзвичайно важливими для виготовлення ІЧ-фотоприймачів, у тому числі багато-елементних лінійок і матриць, детекторів γ -випромінювання та сонячних елементів (Rodríguez-Fernández et al., 2009; Wright et al., 2013). Ефективність роботи цих приладів визначається не лише фізико-хімічними характеристиками напівпровідникових монокристалів, але й хімічним складом, структурною досконалістю та геометрією їх поверхні. Це висуває жорсткі вимоги до якості поверхонь таких матеріалів.

Для формування необхідної якості обробленої поверхні важливим етапом є розробка спеціальних травильних розчинів із заданими властивостями, такими як швидкість хімічного розчинення, параметри шорсткості поверхні та інші характеристики, що відповідають вимогам конкретних приладів. Особливо важливим етапом є хімічна обробка монокристалів, яка вирішує дві ключові задачі – видалення порушеного шару, що утворився після попередніх механічних обробок, та забезпечення формування структурно досконалих, хімічно однорідних поверхонь високої якості.

Ці завдання успішно вирішуються за допомогою методів хімічного травлення, зокрема хіміко-динамічного полірування (далі – ХДП), яке дозволяє забезпечити необхідну якість обробки та відповідність поверхні сучасним технологічним вимогам. Такий підхід забезпечує оптимальні характеристики полірованих поверхонь для подальшого виготовлення високопродуктивних напівпровідникових приладів.

Травильні розчини, що містять дихромат-іони та неорганічні кислоти, широко застосовуються для хімічної обробки та з метою одержання полірованих поверхонь напівпровідникових матеріалів типу $A^{III}B^V$ та $A^{II}B^{VI}$. Залежно від складу травника на основі сполук шестивалентного хрому такі розчини можуть проявляти різні властивості, а саме: полірувальний ефект, селективне травлення окремих компонентів або неселективне травлення. Правильний вибір оптимального складу травильного розчину дозволяє контролювати швидкість полірування, якість обробки поверхні та забезпечувати необхідні параметри для подаль-

шого використання напівпровідникових монокристалів.

Для формування гладкої, бездефектної поверхні та видалення порушеного в результаті попередніх механічних обробок шару $GaAs$ під час виготовлення оптичних детекторів на його основі виконували (Ye et al., 2013, 2016) полірування поверхні напівпровідника розчинами $K_2Cr_2O_7 - HBr - CH_3COOH$ за об'ємного співвідношення компонентів травника 1:1:4. Хімічне травлення у поліруючому розчині було такого складу: 2 г $K_2Cr_2O_7 + 5$ мл $HNO_3 + 10$ мл H_2O , який автори (Machniy & Skrypnyk, 2011; Kosyachenko et al., 2013) виділяють одним із основних етапів у процесі виготовлення омичних контактів до монокристалічних пластин $p-CdTe$.

Завершальним етапом обробки поверхні тонких електролітичних плівок ZnS , Cu_2ZnSnS_4 та $CdTe$ (Jafarov et al., 2018; Ojo et al., 2018), які використовуються для виготовлення сонячних батарей, було травлення протягом 5 с у водному розчині 1,0 г $K_2Cr_2O_7$ підкисленого 10 мл розведеної H_2SO_4 в 10 мл H_2O . Спочатку поліровані зразки промивають в дистильованій воді, а потім 2 хвилини в теплом розчині складу 0,5 г $NaOH + 0,5$ г $Na_2S_2O_3 + 50$ мл H_2O .

Аналіз літератури щодо хімічного розчинення поверхні напівпровідників типу $A^{II}B^{VI}$, $A^{III}B^V$ та тонких плівок на їх основі виявив успішні практики використання травників системи $(NH_4)_2Cr_2O_7 - HBr$. Визначено (Чухненко та ін., 2009) вплив органічних компонентів травника на закономірності процесу хімічного травлення $CdTe$, $CdTe(Ge)$, $CdTe(Sn)$ та $CdTe(Pb)$ і поліруючі властивості розчинів. Встановлено, що легування кристалів $CdTe$ незначно впливає на швидкість їх розчинення, хоча леговані кристали характеризуються дещо вищою швидкістю розчинення.

Показано (Levchenko et al., 2017, 2018), що введення до складу базового травника $(NH_4)_2Cr_2O_7 - HBr$ розчинника (цитратної, тартратної або лактатної кислот) дозволяє збільшити діапазон швидкостей полірування до 5,6–8,4 мкм/хв, а насичення розчину органічним компонентом призводить до зменшення швидкості травлення напівпровідникових матеріалів до 0,1 мкм/хв. З'ясовано (Левченко та ін., 2017), що додавання органічного розчинника збільшує діапазон полірувальних складів, а води – зменшує. За результатами досліджень (Левченко та ін., 2016; Levchenko et al., 2022) кінетич-

них закономірностей хімічного розчинення визначено, що процес травлення монокристалів InAs, InSb та GaAs, GaSb відбувається за дифузійним та/або змішаним механізмом.

Автори (Чайка та ін., 2018) вивчали процес хімічного полірування напівпровідників CdTe, $Zn_xCd_{1-x}Te$ і $Cd_xHg_{1-x}Te$ у водних розчинах $K_2Cr_2O_7 - HCl$ та $K_2Cr_2O_7 - HBr$ і встановили, що полірувальні розчини утворюються при об'ємному вмісті $K_2Cr_2O_7$ 25–45%, а для цих травників характерні повільні швидкості полірування (2,5–6 мкм/хв).

Для розчинів $K_2Cr_2O_7 - HBr$ доведено (Чайка et al., 2019), що між компонентами травника у розчині відбувається взаємодія з утворенням бромиду, який розчиняється у надлишку HBr. Дослідження концентраційної залежності швидкості полірування показали, що збільшення вмісту $K_2Cr_2O_7$ у травнику від 30 до 50 об. % призводить до зростання швидкості ХДП від 4,5 до 9 мкм/хв та утворення високоякісної бездефектної поверхні, при цьому виявлено, що процес розчинення поверхні напівпровідників CdTe, $Zn_xCd_{1-x}Te$ і $Cd_xHg_{1-x}Te$ лімітується стадією дифузії. Встановлено, що розроблені травники досить тривалий час (до 30 днів) не втрачають свого полірувального ефекту, а швидкість їх хімічного полірування зменшується незначно.

Процес формування полірованої поверхні CdTe, $Zn_xCd_{1-x}Te$ і $Cd_xHg_{1-x}Te$ водними розчинами системи $K_2Cr_2O_7 - HBr$ можна оптимізувати, а стан полірованої поверхні напівпровідникових матеріалів покращити внаслідок додавання до складу травильних розчинів органічних кислот. Виявлено (Чайка та ін., 2018, 2020), що додавання оксалатної ($C_2H_2O_4$), тартратної ($C_4H_6O_6$) або ацетатної (CH_3COOH) кислоти дозволяє регулювати хімічну взаємодію $K_2Cr_2O_7$ із HBr, покращує розчинення бромиду, який при цьому виділяється, та сприяє переведенню у розчинну форму продуктів їх взаємодії. Експериментально встановлено, що найвищі швидкості травлення (8–9 мкм/хв) були у всіх досліджуваних зразків у розчинах з високим вмістом $K_2Cr_2O_7$, де, ймовірно, утворюється найбільше активного компонента травника – бромиду. З'ясовано, що внаслідок додавання третього (органічного компонента) до складу травильних композицій швидкість розчинення зразків зменшується від 9 до 0,5 мкм/хв, а концентраційний інтервал полірувальних травників збільшується. Авторами (Чайка та ін., 2018, 2020)

встановлено, що послідовна заміна органічних кислот в ряду оксалатна → ацетатна → тартратна кислота сприяє покращенню полірувальних властивостей травників складу $K_2Cr_2O_7 - HBr$ – розчинник.

Хімічну обробку плівок, видалення тонких шарів матеріалу та фінішне полірування поверхні напівпровідників рекомендовано проводити з використанням повільних полірувальних травників ($V_{пол} < 10$ мкм/хв). Такі розчини зазвичай отримують внаслідок додавання модифікаторів в'язкості до їх складу. Зростання в'язкості травника призводить до ефективнішого розчинення продуктів реакції через утворення розчинних комплексних сполук та забезпечує утворення полірованої бездефектної поверхні монокристалів. Виявлено (Чайка et al., 2019, 2022), що використання під час ХДП в якості модифікаторів багатоосновних спиртів, таких як етиленгліколь і гліцерин, висока в'язкість та низька константа іонізації цих речовин ефективно зменшує швидкість хімічного розчинення напівпровідників. Однак з цієї метою можливе використання деяких органічних кислот, зокрема лактатної кислоти.

Метою роботи є вивчення закономірностей хіміко-динамічного полірування поверхні CdTe та $Zn_xCd_{1-x}Te$ бромовиділяючими травниками $K_2Cr_2O_7 - HBr$ – лактатна кислота, встановлення впливу модифікатора в'язкості на швидкість та якість полірування, дослідження стану полірованої поверхні методами металографічного та профілометричного аналізів, атомно-силової мікроскопії, а також розробка й оптимізація складу повільних полірувальних травильних композицій і створення методики видалення тонких шарів з поверхні монокристалів CdTe та твердих розчинів $Zn_xCd_{1-x}Te$.

Матеріал і методи

У дослідженнях використовували нелеговані монокристали CdTe і $Zn_{0,1}Cd_{0,9}Te$, вирощені методом Бріджмена, та $Zn_{0,04}Cd_{0,96}Te$, який був отриманий з газової фази. Зразки розміром 0,5 см² та товщиною 1,5–2 мм вирізали з монокристалічних злитків шляхом струнної різки з алмазним напиленням. Для запобігання перегріву під час різки струна постійно змочувалася дистильованою водою. Згідно з результатами рентгенівських досліджень (Чайка et al., 2019) глибина порушеного шару після різки становила 90±10 мкм.

Часткове видалення деформованого шару здійснювали механічним шліфуван-

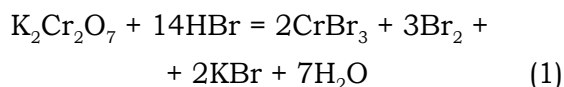
ням абразивними порошками марок М10, М5 та М1, які застосовували у формі водних суспензій з додаванням дистильованої води, гліцерину або етиленгліколю. Глибина деформованого шару після шліфування абразивом М10 зменшувалася до 40 ± 10 мкм, а після використання М5 – до 22 ± 5 мкм (Chaуka et al., 2019). Для видалення залишків деформованих шарів виконували механічне полірування поверхні напівпровідників алмазними пастами марок АСМ 7/5, АСМ 3/2 та АСМ 1/0 зі зменшенням розміру зерна абразиву на кожному етапі. Після полірування автори (Chaуka et al., 2019) виявили товщину порушеного шару після обробки пастою марки АСМ 3/2 розміром 8 ± 3 мкм, після використання пасти АСМ 1/0 – 3 ± 2 мкм.

Після всіх етапів механічної обробки проводили міжопераційну очистку для видалення залишків абразивів та забруднень. Процедура включала:

- 1) промивання (дистильована вода + ПАР);
- 2) промивання дистильованою водою;
- 3) знежирення (ацетон та етанол);
- 4) висушування потоком сухого повітря.

Перед фінальним поліруванням проводили видалення порушеного шару товщиною 80–100 мкм за допомогою травильного розчину HNO_3 – HBr – тартратна кислота, а потім здійснювали хіміко-механічне полірування травильними композиціями на основі $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ – HBr – етиленгліколь.

Травильні розчини готували на основі 40% HBr , 10,9% розчину $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, 80% лактатної кислоти та етиленгліколю (реактиви марки х.ч.). Після змішування розчини витримували 2 години для досягнення рівноваги хімічної реакції:



Експериментальні дослідження проводили методом хіміко-динамічного полірування розробленими травильними композиціями $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ – HBr – лактатна кислота, використовуючи методику диску, що обертається у відтворюваних гідродинамічних умовах. Швидкість розчинення зразків визначали за зміною їх товщини до і після полірування годинниковим індикатором типу 1-МІПІ (точність $\pm 0,5$ мкм). Одночасно полірували 4 зразки, закріплені у фторопластовому тримачі, що забезпечувало їх розташування в одній площині та рівномірність розчинення. Тривалість полірування становила 3–5 хвилин, тому похибка визна-

чення швидкості розчинення була в межах 0,1–0,2 мкм/хв.

Мікроструктуру поверхні полірованих монокристалів досліджували у білому світлі з використанням металографічного мікроскопа МІМ-7 із відеокамерою eTREK DCM800 (8 Mpix) при кратності збільшення від $\times 25$ до $\times 1600$. Шорсткість поверхні вимірювали профілометром HOMMEL-ETAMIC W5 механічним контактним методом, який визначає висоту мікронерівностей ≥ 5 нм в межах від -210 до $+110$ мкм, клас точності за DIN 4772=1 (3%). Морфологію поверхні зразків після фінішного ХДП досліджували методом атомно-силової мікроскопії (АСМ) на NanoScope IIIa Dimension 3000 в режимі періодичного контакту.

Результати

Додавання водного розчину лактатної кислоти, для якої характерна висока в'язкість (22,2 сП), до бромвиділяючих травильних композицій $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ – HBr дозволяє ефективно контролювати процес виділення броду, який взаємодіє з поверхнею напівпровідників під час ХДП. Це сприяє більш рівномірному розподілу броду на оброблюваній поверхні, а також забезпечує можливість регулювання швидкості хімічного розчинення зразків.

У таких травильних розчинах окисником 40% бромідної кислоти був 10,8% розчин $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, а 80% лактатна кислота виконувала роль комплексоутворювача та модифікатора в'язкості. Таким чином, введення $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ до розчинів не лише сприяє покращенню керованості процесу травлення, але й дозволяє отримувати гладкі, рівномірно поліровані поверхні зі збереженням їх структурної досконалості, що важливо для застосування у високоточній електроніці та оптоелектроніці.

Дослідження закономірностей процесу хімічного розчинення поверхні монокристалів CdTe та $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ у травильних розчинах $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ – HBr – $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ проводили в концентраційному інтервалі **ABC** (рис. 1) за $T = 293$ К та при швидкості перемішування розчину $\gamma = 82$ хв⁻¹.

За результатами проведених досліджень виявлено ділянки полірувальних (ділянка I) та неполірувальних (ділянка III) розчинів поверхні напівпровідникових монокристалів CdTe та $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$. Крім того, встановлено низку складів травників (ділянка II), після обробки якими через декілька хвилин на поверхні CdTe та $\text{Zn}_{0,04}\text{Cd}_{0,96}\text{Te}$ з'являється тонка пасивуюча плівка білого

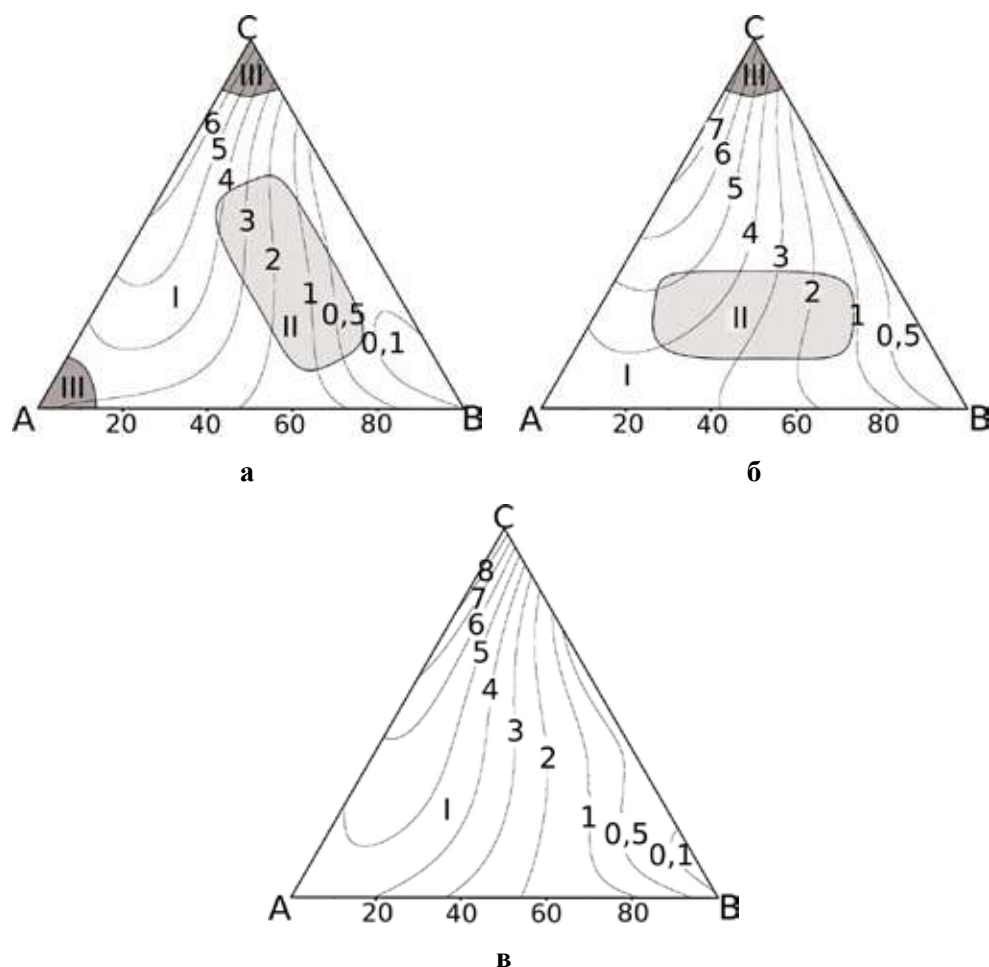
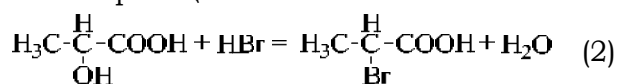


Рис. 1. Концентраційна залежність ($T = 293 \text{ K}$, $\gamma = 82 \text{ хв}^{-1}$) швидкості хімічного розчинення (мкм/хв) монокристалів CdTe (**а**), $\text{Zn}_{0.04}\text{Cd}_{0.96}\text{Te}$ (**б**) та $\text{Zn}_{0.1}\text{Cd}_{0.9}\text{Te}$ (**в**) за об'ємного співвідношення $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{HBr} - \text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ у вершинах **А**, **В**, **С** відповідно: **А** – 20:80:0; **В** – 20:20:60; **С** – 50:50:0 (ділянка **I** – полірувальні, **II** – полірувальні при утворенні пасивуючої плівки, **III** – не полірувальні розчини)

кольору. Цю плівку можна легко зняти ХДП монокристалу розчином складу (об. %): 40 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ + 60 HBr , після обробки утворюється гладка поверхня з дзеркальним блиском.

Встановлено (див. рис. 1), що зростання вмісту $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ в HBr спричиняє збільшення швидкості розчинення зразків та досягає максимальних значень (6,8–8,5 мкм/хв) у травниках із найбільшим вмістом $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (кут **С** на діаграмі). Значне зниження швидкості травлення (до 0,15 мкм/хв для $\text{Zn}_{0.04}\text{Cd}_{0.96}\text{Te}$ та до 0,1 мкм/хв для CdTe і $\text{Zn}_{0.1}\text{Cd}_{0.9}\text{Te}$) та суттєве покращення стану полірованої поверхні було зафіксовано в травильних розчинах, збагачених на лактатну кислоту (поблизу точки **В**, травники з найбільшим вмістом $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$).

Насичення травників органічним компонентом супроводжується зменшенням концентрації основних реагентів $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ і HBr . Унаслідок цього зниження швидкості ХДП може бути спричинене як підвищенням в'язкості травника, так і зменшенням концентрації активних компонентів травильного розчину. Припускаємо, що в розчинах із вмістом 30–60 об.% $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ може відбуватись хімічна взаємодія лактатної кислотою з HBr за реакцією:



Утворена α -бромпропанова кислота здатна легко взаємодіяти з вільним бромом, який утворюється внаслідок взаємодії основних компонентів травника. Таким чином, повільні швидкості хімічного роз-

чинення досліджуваних монокристалів (0,1–1 мкм/хв) поблизу точки В на діаграмах можуть пояснюватися значним зниженням вмісту Br_2 в HBr в цьому діапазоні розчинів.

Полірувальний ефект травника підвищується зі збільшенням в'язкості розчину, що, ймовірно, пов'язано зі зниженням швидкості ХДП через уповільнення видалення продуктів розчинення та обмеження доставки свіжих порцій активних компонентів травильного розчину до межі поділу «монокристал – травильний розчин».

Виявлено особливості зміни швидкості хімічного полірування твердих розчинів $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ залежно від їх складу: у всіх досліджуваних травильних композиціях швидкість ХДП збільшується, а якість обробленої поверхні зразків покращується зі зростанням вмісту цинку у складі твердого розчину. Це, ймовірно, зумовлено вищими комплексуючими властивостями лактатної кислоти стосовно іонів Zn^{2+} . Характер ходу ізолій ХДП та зміни швидкості хімічного полірування вказують на однакову природу механізму розчинення досліджуваних монокристалів у травильних розчинах $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{HBr} - \text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$, що, ймовірно, зумовлено розчиненням аніонної підґратки телуру.

Для встановлення цього механізму та виявлення лімітуючих стадій процесу розчинення досліджено кінетичні закономірності ХДП та побудовано графіки залежності швидкості хімічного розчинення пластин (v) від температури полірувального травника

(об. %): $20 \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 50 \text{ HBr} + 30 \text{ C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ – у системі координат $\ln v - 1/T$. З представлених залежностей швидкості розчинення (див. рис. 2) в інтервалі $T = 285\text{--}301 \text{ K}$ (при $\gamma = 82 \text{ хв}^{-1}$) обраховано величину уявної енергії активації (E_a) та логарифм передекспоненційного множника ($\ln C_p$) (табл. 1). З таблиці бачимо, що обраховані значення E_a процесу хімічного розчинення твердих розчинів $\text{Zn}_{0,04}\text{Cd}_{0,96}\text{Te}$ та $\text{Zn}_{0,1}\text{Cd}_{0,9}\text{Te}$ перебувають в інтервалі 13,6–14,4 кДж/моль, тобто становлять менше 30 кДж/моль, що доводить лімітування процесу розчинення стадією дифузії. Процес хімічного розчинення монокристалів CdTe в даному розчині відбувається за змішаним дифузійно-кінетичним механізмом, у якому переважають дифузійні стадії, адже значення E_a перебуває в межах від 30 до 40 кДж/моль.

Металографічний, профілометричний аналізи та атомно-силова мікроскопія підтвердили (табл. 2), що поверхня монокристалів CdTe та $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ після травлення в розроблених полірувальних розчинах є гладкою та однорідною, а параметри її шорсткості відповідають стандартам, встановленим для надгладких полірованих поверхонь напівпровідникових матеріалів у виробництві ($R_a < 10 \text{ нм}$).

Встановлено, що для формування бездефектної полірованої поверхні досліджуваних матеріалів процес полірування рекомендовано виконувати в травниках складу (в об. %): $(20\text{--}50) \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + (20\text{--}80) \text{ HBr} + (0\text{--}60) \text{ C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ – при температурі 293–296 К

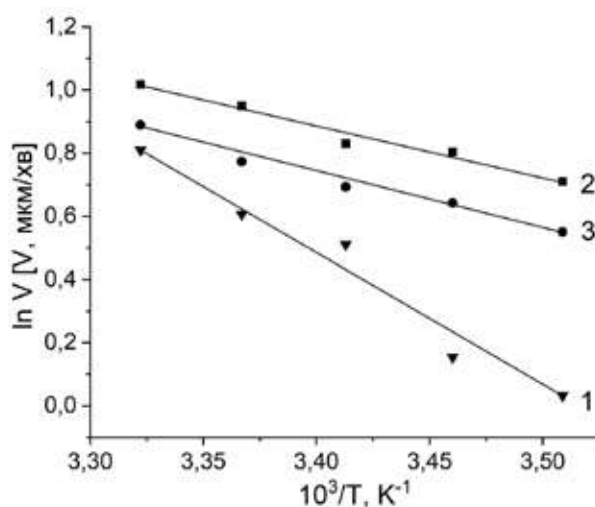


Рис. 2. Залежність швидкості ХДП (мкм/хв) монокристалів CdTe (1), $\text{Zn}_{0,04}\text{Cd}_{0,96}\text{Te}$ (2) та $\text{Zn}_{0,1}\text{Cd}_{0,9}\text{Te}$ (3) від температури ($\gamma = 82 \text{ хв}^{-1}$) розчину (в об. %): $20 \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 50 \text{ HBr} + 30 \text{ C}_3\text{H}_6\text{O}_3$

Таблиця 1

Уявна енергія активації (E_a) та передекспоненційний множник ($\ln C_E$) процесу хімічного розчинення монокристалів у полірувальному травнику складу (об. %): $20 K_2Cr_2O_7 + 50 HBr + 30 C_3H_6O_3$

Напівпровідник	E_a , кДж/моль	$\ln C_E$	Механізм розчинення
CdTe	35,8	15,1	змішаний
$Zn_{0,04}Cd_{0,96}Te$	13,6	6,4	дифузійний
$Zn_{0,1}Cd_{0,9}Te$	14,4	6,6	дифузійний

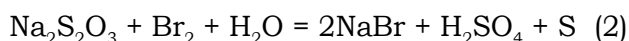
Таблиця 2

Параметри шорсткості поверхні CdTe після різних етапів обробки

Етап обробки	R_a , нм
струнна різка	1210
струнна різка + шліфування абразивною пастою ACM 10/7	530
струнна різка + шліфування абразивними пастами (ACM 10/7 → ACM 5/3)	180
струнна різка + шліфування абразивними пастами (ACM 10/7 → ACM 5/3 → ACM 1/0)	50
струнна різка + шліфування абразивними пастами (ACM 10/7 → ACM 5/3 → ACM 1/0) + ХДП поверхні полірувальним травником	8,4

зі швидкістю обертання диску $\gamma = 82 \text{ хв}^{-1}$. З'ясовано, що тривале зберігання розроблених полірувальних розчинів після їх приготування (до 10 діб) не змінює їх полірувальних властивостей.

Виявлено, що після завершення процесу полірування зразки необхідно обробляти 0,1 М розчином $Na_2S_2O_3$, щоб видалити залишки бром:



Потім монокристали промивати дистильованою водою та сушити потоком теплого повітря.

На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що додавання різного об'єму модифікатора в'язкості (лактатної кислоти) до травників дозволяє регулювати швидкість хімічного полірування поверхні монокристалів CdTe і твердих розчинів $Zn_xCd_{1-x}Te$ та отримувати розчини з широким діапазоном швидкостей травлення (0,1–9 мкм/хв). Для зняття тонких шарів матеріалу, хімічної обробки тонких плівок та формування нанорозмірного рельєфу на поверхні досліджуваних монокристалів рекомендовано використовувати травники зі швидкістю полірування 1–5 мкм/хв та високою полірувальною здатністю ($R_a < 10 \text{ нм}$).

Висновки

Досліджено фізико-хімічну взаємодію монокристалів CdTe та твердих розчинів $Zn_xCd_{1-x}Te$ ($x = 0,04$ та $0,1$) з водними розчинами $K_2Cr_2O_7$ – HBr – лактатна кислота. Побудовано графічні залежності «склад роз-

чину – швидкість полірування» для зазначених матеріалів та встановлено концентраційні межі ділянок полірувальних та не полірувальних розчинів. Аналіз ізоліній швидкостей травлення монокристалів показав їхню подібність, що вказує на однотиповий механізм розчинення у досліджуваних травильних розчинах. Вірогідно, цей механізм пов'язаний із розчиненням підґратки телуру. Виявлено вплив природи напівпровідникових матеріалів та концентрації лактатної кислоти у травнику на швидкість розчинення CdTe і $Zn_xCd_{1-x}Te$, полірувальні властивості травників та стан обробленої поверхні. Доведено, що додавання лактатної кислоти до складу травильних композицій зменшує швидкість хімічного розчинення напівпровідників, формуючи повільні полірувальні розчини зі швидкістю розчинення в межах 0,1–9 мкм/хв.

За результатами аналізу температурних залежностей швидкості полірування встановлено уявну енергію активації процесу ХДП ($E_a = 13,6$ – $35,8$ кДж/моль) та виявлено, що процес розчинення твердих розчинів $Zn_xCd_{1-x}Te$ у полірувальних травниках обмежується дифузійними стадіями, а для монокристалів CdTe має місце змішаний механізм. Оптимізовані склади травильних розчинів та розроблені режими проведення ХДП поверхні напівпровідників рекомендовано застосовувати для контрольованого зняття шарів матеріалу, обробки тонких плівок та фінішного хімічного полірування поверхні монокристалів CdTe і твердих розчинів $Zn_xCd_{1-x}Te$.

Список використаної літератури

- Левченко І.В., Стратійчук І.Б., Томашик В.М., Маланич Г.П., Кравецький М.Ю., Корчовий А.А. Хімічне травлення поверхні InAs, InSb, GaAs та GaSb. *Науковий вісник Чернівецького університету. Серія «Хімія»*. 2016. № 781. С. 60–67.
- Левченко І.В., Стратійчук І.Б., Томашик В.М., Маланич Г.П., Корчовий А.А. Хімічне розчинення InAs, InSb, GaAs та GaSb в травильних композиціях $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{HBr} - \text{H}_2\text{O}$. *Вісник Одеського національного університету. Серія «Хімія»*. 2017. Т. 22. (3). С. 63–72.
- Чайка М.В., Денисюк Р.О., Томашик З.Ф., Томашик В.М. Хімічна взаємодія CdTe, $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ та $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ з водними розчинами $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{HBr}$ (HCl). *Питання хімії та хімічної технології*. 2018. № 1. С. 51–56.
- Чайка М.В., Томашик З.Ф., Томашик В.М., Маланич Г.П., Корчовий А.А. Особливості хімічного розчинення монокристалів CdTe, $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ та $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ у водних розчинах $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{HBr} - \text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$. *Вопросы химии и химической технологии*. 2018. № 6. С. 99–106. <http://dx.doi.org/10.32434/0321-4095-2018-121-6-99-106>.
- Чайка М.В., Томашик З.Ф., Маланич Г.П., Томашик В.М., Панасюк Д.Ю., Камінський О.М. Фізико-хімічна взаємодія монокристалів CdTe та $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ з водними розчинами $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{HBr}$ – оксалатна кислота. *Питання хімії та хімічної технології*. 2020. № 4. С. 187–193. <http://dx.doi.org/10.32434/0321-4095-2020-131-4-187-193>.
- Чухненко П.С., Іваніцька В.Г., Томашик З.Ф., Томашик В.М., Стратійчук І.Б. Хімічне травлення легованих елементами IV групи монокристалів CdTe водними розчинами $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{HBr}$. *Науковий вісник Чернівецького університету. Серія «Хімія»*. 2009. № 473. С. 43–46.
- Chayka M.V., Tomashyk Z.F., Tomashyk V.M., Malanych G.P., Korchovyi A.A. Optimization of bromine-emerging etching compositions $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{HBr}$ -ethylene glycol for forming a polished surface of CdTe, $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ and $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$. *Functional Materials*. 2019. Vol. 26 (1). P. 189–196. <https://doi.org/10.15407/fm26.01.189>.
- Chayka M., Tomashyk Z., Tomashyk V., Malanych G., Korchovyi A. Formation of nanosized relief on the CdTe single crystals surface by bromine-emerging etchants. *Applied Nanoscience*. 2022. Vol. 12. P. 603–609. <https://doi.org/10.1007/s13204-021-01716-8>.
- Jafarov M.A., Nasirov E.F., Jahangirova S. ZnS/Cu₂ZnSnS₄/CdTe/In Thin Film Structure for Solar Cells. *Journal of Advances in Physics*. 2018. Vol. 14 (2). P.5435–5441. <https://doi.org/10.24297/jap.v14i2.7395>.
- Kosyachenko L.A., Yurtsenyuk N.S., Rarenko I.M., Sklyarchuk V.M., Sklyarchuk O.F., Zakharuk Z.I., Grushko E.V. Charge transport mechanisms in Schottky diodes based on low-resistance CdTe:Mn. *Semiconductors*. 2013. Vol. 47 (7). P. 916–924. <https://doi.org/10.1134/S1063782613070129>.
- Levchenko I.V., Tomashyk V.M., Stratiychuk I.B., Malanych G.P., Stanetska A.S., Korchovyi A.A. Chemical polishing of InAs, InSb, GaAs and GaSb. *Functional materials*. 2017. Vol. 24 (4). P. 654–659. <https://doi.org/10.15407/fm24.04.654>.
- Levchenko I., Tomashyk V., Stratiychuk I., Malanych G., Korchovyi A., Kryvyi S., Kolomys O. Formation of the InAs, InSb, GaAs and GaS-polished surface. *Applied Nanoscience*. 2018. Vol. 8. P. 949–953. <https://doi.org/10.1007/s13204-018-0788-7>.
- Levchenko I., Tomashyk V., Malanych G., Stratiychuk I., Korchovyi A. Improvement the InAs, InSb, GaAs and GaSb surface state by nanoscale wet etching. *Applied Nanoscience*. 2022. Vol. 12. P. 1139–1145. <https://doi.org/10.1007/s13204-021-01784-w>.
- Machniy V.P., Skrypnyk N.J. Mechanisms of current flow in Au-CdTe contacts with a modified surface. *Semiconductors*. 2011. Vol. 45 (3). P. 312–315. <https://doi.org/10.1134/S106378261103016X>.
- Ojo A.A., Salim H.I., Dharmadasa I.M. The influence of ZnS crystallinity on all-electroplated ZnS/CdS/CdTe graded bandgap device properties. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 2018. Vol. 29 (16). P. 13631–13642. <https://doi.org/10.1007/s10854-018-9491-4>.
- Rodriguez-Fernández J., Carcelén V., Hidalgo P., Vijayan N., Piqueras J., Sochinskii N.V., Perez J.M., Diéguez E. Relationship between the cathodoluminescence emission and resistivity in In doped CdZnTe crystals. *Journal of Applied Physics*. 2009. Vol. 106 (4). P. 044901. <https://doi.org/10.1063/1.3197031>.
- Wright J.S., Washington A.L., Duff M.C., Burger A., Groza M., Matei L., Buliga V. The Effect of Subbandgap Illumination on the Bulk Resistivity of CdZnTe. *Journal of Electronic Materials*. 2013. Vol. 42. P. 3119–3124. <https://doi.org/10.1007/s11664-013-2676-y>.
- Ye J., Wang S., Zhu C., Xu G., Luo L. Wafer level packaging for GaAs optical detector using through wafer grooves (TWG) fabricated by mechanical dicing and wet etching. *14th*

International Conference on Electronic Packaging Technology, Dalian, China. 2013. P. 1305–1307. <https://doi.org/10.1109/ICEPT.2013.6756697>.

Ye J., Wang S., Zhu C., Xu G., Luo L. Novel combined through – wafer - groove fabrication approach and its application in wafer level packaging of GaAs CCD. *Microsystem Technologies*. 2016. Vol. 22 (8). P. 1983–1989. <https://doi.org/10.1007/s00542-015-2507-6>.

References

Levchenko, I.V., Stratiychuk, I.B., Tomashyk, V.M., Malanych, G.P., Kravetskyi, M.Y., & Korchovyi, A.A. (2016). Khimichne travlennia poverkhni InAs, InSb, GaAs ta GaSb [The chemical etching of InAs, InSb, GaAs and GaSb surface]. *Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu.: Khimiia [Scientific Bulletin of Chernivtsi University: Chemistry]*, 781, 60–67 [in Ukrainian].

Levchenko, I.V., Stratiychuk, I.B., Tomashyk, V.M., Malanych, G.P., & Korchovyi, A.A. (2017). Khimichne rozchynennia InAs, InSb, GaAs ta GaSb v travylnykh kompozit-siakh $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{HBr} - \text{H}_2\text{O}$ [Chemical dissolution InAs, InSb, GaAs and GaSb in the $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{HBr} - \text{H}_2\text{O}$ etching compositions]. *Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu. Khimiia [Odesa National University Herald. Chemistry]*, 22 (3), 63–72 [in Ukrainian].

Chayka, M.V., Denysyuk, R.O., Tomashyk, Z.F., & Tomashyk, V.M. (2018). Khimichna vzaiemodiia CdTe, $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ ta $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ z vodnymy rozchynamy $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{HBr}$ (HCl) [Chemical interaction of CdTe, $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ and $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ with $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{HBr}$ (HCl) aqueous solutions]. *Pytannia khimii ta khimichnoi tekhnologii [Questions of chemistry and chemical technology]*, (1), 51–56 [in Ukrainian].

Chayka, M.V., Tomashyk, Z.F., Tomashyk, V.M., Malanych, G.P., & Korchovyi, A.A. (2018). Osoblyvosti khimichnoho rozchynennia monokystaliv CdTe, $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ ta $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ u vodnykh rozchynakh $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{HBr} - \text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ [Features of the chemical dissolution of CdTe, $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ and $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ single crystals in $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{HBr} - \text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ aqueous solutions]. *Pytannia khimii ta khimichnoi tekhnologii [Questions of chemistry and chemical technology]*, 6, 99–106. <http://doi.org/10.32434/0321-4095-2018-121-6-99-106> [in Ukrainian].

Chayka, M.V., Tomashyk, Z.F., Malanych, G.P., Tomashyk, V.M., Panasjuk, D.Yu., & Kaminskiy, O.M. (2020). Fyzyko-khimichna vzaiemodiia monokystaliv CdTe ta $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ z vodnymy rozchynamy $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{HBr} - \text{oksalatna kyslota}$ [Physicochemical Interaction of CdTe and $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ Single Crystals With $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{HBr} - \text{Oxalic Acid Aqueous Solutions}$]. *Pytannia khimii ta khimichnoi tekhnologii [Questions of chemistry and chemical technology]*, 4, 187–193. <http://dx.doi.org/10.32434/0321-4095-2020-131-4-187-193> [in Ukrainian].

Chukhnenko, P.S., Ivanitska, V.G., Tomashik, Z.F., Tomashik, V.M., & Stratiychuk, I.B. (2009). Khimichne travlennia lehovanykh elementamy IV hrupy monokystaliv CdTe vodnymy rozchynamy $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{HBr}$ [Chemical etching of doped by IV group impurities CdTe single crystals using $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{HBr}$ aqueous solutions]. *Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu.: Khimiia [Scientific Bulletin of Chernivtsi University: Chemistry]*, 473, 43–46 [in Ukrainian].

Chayka, M.V., Tomashyk, Z.F., Tomashyk, V.M., Malanych, G.P., & Korchovyi, A.A. (2019). Optimization of bromine-emerging etching compositions $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{HBr}$ -ethylene glycol for forming a polished surface of CdTe, $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ and $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$. *Functional Materials*, 26 (1), 189–196. <https://doi.org/10.15407/fm26.01.189> [in English].

Chayka, M., Tomashyk, Z., Tomashyk, V., Malanych, G., & Korchovyi, A. (2022). Formation of nanosized relief on the CdTe single crystals surface by bromine-emerging etchants. *Applied Nanoscience*, 12, 603–609. <https://doi.org/10.1007/s13204-021-01716-8> [in English].

Jafarov, M.A., Nasirov, E.F., & Jahangirova, S.A. (2018). ZnS/Cu₂ZnSnS₄/CdTe/In Thin Film Structure for Solar Cells. *Journal of Advances in Physics*, 14 (2), 5435–5441. <https://doi.org/10.24297/jap.v14i2.7395> [in English].

Kosyachenko, L.A., Yurtsenyuk, N.S., Rarenko, I.M., Sklyarchuk, V.M., Sklyarchuk, O.F., Zakharuk, Z.I., & Grushko, E.V. (2013). Charge transport mechanisms in Schottky diodes based on low-resistance CdTe:Mn. *Semiconductors*, 47 (7), 916–924. <https://doi.org/10.1134/S1063782613070129> [in English].

Levchenko, I.V., Tomashyk, V.M., Stratiychuk, I.B., Malanych, G.P., Stanetska, A.S., & Korchovyi, A.A. (2017). Chemical polishing of InAs, InSb, GaAs and GaSb. *Functional materials*, 24 (4), 654–659. <https://doi.org/10.15407/fm24.04.654> [in English].

Levchenko, I., Tomashyk, V., Stratiychuk, I., Malanych, G., Korchovyi, A., Kryvyi, S., & Kolomys, O. (2018). Formation of the InAs, InSb, GaAs and GaS-polished surface. *Applied Nanoscience*, 8, 949–953. <https://doi.org/10.1007/s13204-018-0788-7> [in English].

Levchenko, I., Tomashyk, V., Malanych, G., Stratiychuk, I., & Korchovyi, A. (2022). Improvement the InAs, InSb, GaAs and GaSb surface state by nanoscale wet etching. *Applied Nanoscience*, 12, 1139–1145. <https://doi.org/10.1007/s13204-021-01784-w> [in English].

Machniy, V.P., & Skrypnyk, N.J. (2011). Mechanisms of current flow in Au-CdTe contacts with a modified surface. *Semiconductors*, 45 (3), 312–315. <https://doi.org/10.1134/S106378261103016X> [in English].

Ojo, A.A., Salim, H.I., & Dharmadasa, I.M. (2018). The influence of ZnS crystallinity on all-electroplated ZnS/CdS/CdTe graded bandgap device properties. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29 (16), 13631–13642. <https://doi.org/10.1007/s10854-018-9491-4> [in English].

Rodriguez-Fernández, J., Carcelén, V., Hidalgo, P., Vijayan, N., Piqueras, J., Sochinskii, N.V., Perez, J.M., & Diéguez, E. (2009). Relationship between the cathodoluminescence emission and resistivity in In doped CdZnTe crystals. *Journal of Applied Physics*, 106 (4), 044901. <https://doi.org/10.1063/1.3197031> [in English].

Wright, J.S., Washington, A.L., Duff, M.C., Burger, A., Groza, M., Matei, L., & Buliga, V. (2013). The Effect of Subbandgap Illumination on the Bulk Resistivity of CdZnTe. *Journal of Electronic Materials*, 42, 3119–3124. <https://doi.org/10.1007/s11664-013-2676-y> [in English].

Ye, J., Wang, S., Zhu, C., Xu, G., & Luo, L. (2013). Wafer level packaging for GaAs optical detector using through wafer grooves (TWG) fabricated by mechanical dicing and wet etching. *14th International Conference on Electronic Packaging Technology, Dalian, China*, 1305–1307. <https://doi.org/10.1109/ICEPT.2013.6756697> [in English].

Ye, J., Wang, S., Zhu, C., Xu, G., & Le, Luo. (2016). Novel combined through-wafer-groove fabrication approach and its application in wafer level packaging of GaAs CCD. *Microsystem Technologies*, 22 (8), 1983–1989. <https://doi.org/10.1007/s00542-015-2507-6> [in English].

Отримано: 24.01.2025

Прийнято: 14.02.2025

ЗМІСТ

БІОЛОГІЧНІ НАУКИ

А. П. Вакал, Ю. І. Литвиненко. Поширення регіонально рідкісних видів рослин на території басейну річки Сироватка (Сумська область).....	7
В. М. Вірченко, А. М. Фельбаба-Клушина, Р. Е. Садигов. Бріофлора міста Ужгорода	18
О. А. Давидов, Е. Ш. Козійчук. Таксономічне різноманіття мікрофітобентосу мілководної зони Київського водосховища (Україна)	27
О. М. Крайнюков, І. А. Кривицька, О. Є. Найдьонова. Еколого-токсикологічна оцінка стану поверхневих вод Журавлівського гідропарку	35
О. В. Кратко, А. М. Головатюк, О. Б. Бондар. Комахи – біоіндикатори забруднення наземних екосистем.....	43
О. Б. Мехед, С. В. Кириєнко. Флористичні та ценотичні особливості лісової рослинності південно-західної частини Чернігівського Полісся.....	50
В. В. Мороз, О. В. Гарбар. Фауна дощових черв'яків в урбанізованих біотопах міста Житомира	57
Н. В. Новосад. Дослідження морфологічних особливостей серозної оболонки брижі товстого кишківника.....	66
А. П. Стадниченко, Ю. В. Іконнікова. Поширення, морфологія, екологія й біологія сосни канарської Середземноморського флористичного регіону.....	73
Ю. С. Шелюк, Д. І. Кошмеринська, О. П. Житова. Фітопланктон як індикатор стану водної екосистеми малого водосховища.....	82

АГРАРНІ НАУКИ

В. П. Бессонова, С. О. Гулько. Аналіз вуличного квітничкового дизайну Нагірної частини м. Дніпро.....	93
Я. М. Гадзало, Р. А. Вожегова, Я. О. Лікар. Вплив різних схем захисту рослин на біометричні показники та ураженість хворобами сортів пшениці озимої різного екологічного походження в Південному Степу	115
О. М. Зубко, С. І. Бердін, Є. Ю. Бутенко, А. А. Ставицький. Вплив біологічних препаратів для передпосівної обробки насіння на динаміку формування морфологічних ознак сої	126
У. М. Карбівська, П. М. Дмитрик, В. В. Клід, О. Д. Турак, А. В. Карбівський. Вплив удобрення на продуктивність різних сортів бульб картоплі в умовах Передкарпаття.....	136
О. В. Карпишин, В. В. Мойсієнко. Листкова діагностика для оптимізації живлення рослин спельти озимої в умовах Полісся.....	143
Н. В. Кравченко, А. А. Подгаєцький, А. О. Христенко, А. Л. Задорожний, Б. М. Четверик. Пошук стійкості до м'якої гнилі картоплі в умовах Північно-східного Лісостепу України.....	152
О. І. Куценко, І. А. Гавриш. Вплив світлодіодного освітлення на господарсько-біологічні показники салату посівного та васильків справжніх.....	162
О. О. Ласло, Р. В. Олєп'єр. Ефективність комплексного удобрення в технології вирощування кукурудзи.....	170
І. І. Паламарчук. Урожайність гібридів кукурудзи цукрової в умовах Лісостепу Правобережної України.....	178
В. В. Паращук, В. Я. Хоміна. Формування показників фотосинтетичної продуктивності посівів нагідок лікарських залежно від способів застосування регуляторів росту рослин.....	185
О. В. Пилипенко. Різноманітність насіння, оцінка фракційного складу та маси тисячі насінин сої в залежності від сортового складу.....	192
І. В. Пліско, К. Ю. Романчук. Моделювання мілітарного впливу ущільнення ґрунту на біологічний урожай пшениці ярої на ґрунтах різного гранулометричного складу.....	201

С. Ф. Разанов, М. І. Куценко. Фіторе mediaція дерново-підзолистого ґрунту за вирощування нектаропилконосних рослин в умовах Полісся.....	213
Л. Д. Романчук, Н. Г. Матвійчук, Б. В. Матвійчук. Фіторе mediaція ґрунтів шляхом вирощування енергетичних культур.....	223
О. П. Ткачук, І. М. Гук. Продуктивність, якість та стійкість сортів гірчиці білої.....	235
С. М. Шевченко, М. С. Шевченко, К. А. Деревенець-Шевченко, О. М. Шевченко, О. В. Заверталюк. Ефективність прийомів основного обробітку ґрунту та контролювання бур'янів при вирощуванні соняшника.....	242

ЕКОЛОГІЯ, РАЦІОНАЛЬНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

Т. О. Bondar, A. S. Bosiuk, D. I. Nechyporenko, V. E. Lifer, I. V. Melnyk. Assessment of the impact of oil products on the development of agricultural plants.....	250
О. М. Василенко. Сталий розвиток хімічної промисловості через інноваційні підходи до переробки відходів.....	260
Л. О. Герасимчук, Р. А. Валерко, І. Г. Пацева, І. С. Пацев. Лісові пожежі у фокусі кластерного аналізу: екосистемні та технологічні аспекти через призму VOSviewer.....	270
Т. М. Коткова, Л. А. Котюк, О. В. Яременко, С. В. Стоцька. Дослідження стану угруповань флори за впливу промислової розробки Сокириницького родовища цеолітів Хустського району Закарпатської області.....	280
І. Я. Мисковець, І. В. Андрощук. Річкова долина Прип'яті Волинського Полісся: сучасний стан та антропогенні зміни.....	294
С. О. Потоцька, П. А. Аравін, Ю. О. Карпенко, В. О. Свердлов. Екосистемні послуги вуличних зелених насаджень м. Чернігова в умовах кліматичних змін.....	303
І. В. Хом'як. Антропогенна трансформація похідних лісів класу <i>Robinietaea</i> на території Українського Полісся.....	314
Ю. С. Ющенко, М. Д. Заячук, М. Д. Пасічник, О. В. Паланичко, А. А. Мельник. Методичні аспекти гідроморфологічного аналізу антропогенної трансформації річкового ландшафту (на прикладах р. Черемош).....	325

ГЕОГРАФІЧНІ НАУКИ

І. В. Поручинська, А. М. Слащук. Статистичний аналіз ягідництва в Україні.....	345
Д. І. Шкаєва. Середньомісячні та середньорічні температури в контексті несприятливих погодних явищ на території міста Чернівці у 1880–1900-их роках.....	352

ХІМІЧНІ НАУКИ

Л. К. Волкова, Л. І. Опейда. Гомо- і гетеролітичні механізми в реакціях нормальних алканів у присутності паладію (II).....	364
В. В. Листван. Використання фосфонієвих солей у синтезі нових ненасичених амідів.....	378
М. В. Чайка, О. М. Камінський, Р. О. Денисюк, В. М. Томашик, Ю. Ю. Чайка, Д. Ю. Панасюк. Оптимізація травників $K_2Cr_2O_7 - HBr$ – лактатна кислота для видалення тонких шарів з поверхні $CdTe$ та $Zn_xCd_{1-x}Te$	386