

Міністерство освіти і науки України  
Житомирський державний університет імені Івана Франка

# Український журнал природничих наук

№ 9

Науковий журнал,  
заснований у 2022 році



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2024

Видається за рішенням вченої ради Житомирського державного університету імені Івана Франка  
(протокол № 16 від 27.09.2024 року).

**Головний редактор**

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

**Заступник головного редактора**

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

**Відповідальний секретар**

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

**Члени редакційної колегії**

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

**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)

**Малярчук 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 науковий співробітник відділу інноваційної діяльності, трансферу технологій та інтелектуальної власності, Інститут зрошуваного землеробства НААН України (Херсон, Україна)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

*Наукове періодичне видання*

Український журнал природничих наук: науковий журнал / [гол. ред. Овчаренко Микола,  
відп. ред. Шелюк Юлія]. Житомир: 2024. № 9. 346 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: 091 Біологія, 101 Екологія, 102 Хімія, 106 Географія, 201 Агрономія;  
(галузі науки: біологічні, хімічні, географічні, сільськогосподарські)

Сайт видання: [naturaljournal.zu.edu.ua/index.php/ujns](http://naturaljournal.zu.edu.ua/index.php/ujns)  
Макетування: Молодецька О. І.

*В усіх статтях збережено орфографію та пунктуацію авторів.*

Підписано до друку 30.09.2024 р. Формат 60x90/8. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman  
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 43,25. Тираж 300. Замовлення 1024/691

---

Видавничий дім «Гельветика»  
65101, м. Одеса, вул. Інглєзі, 6/1  
Телефон +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08  
E-mail: [mailbox@helvetica.ua](mailto: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, 2024

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

# Ukrainian Journal of Natural Sciences

№ 9

Scientific journal,  
founded in 2022



Publishing House  
"Helvetica"  
2024

*Approved for publication by the Academic Council of Zhytomyr Ivan Franko State University  
(protocol № 16 dated from 27.09.2024).*

**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, Innovation Transfer and Economic Research of Institute of Irrigated Agriculture NAAS of Ukraine (Kherson, Ukraine)

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

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

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

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

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

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

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

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

**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: 2024. № 9. 346 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: 091 Biology, 101 Ecology, 102 Chemistry, 106 Geography, 201 Agronomy;  
(fields of science: biological, chemical, geographical, agricultural)

Website: [naturaljournal.zu.edu.ua/index.php/ujns](http://naturaljournal.zu.edu.ua/index.php/ujns)  
Modelling: Molodetska O. I.

*Authors' spelling and punctuation are preserved in the articles.*

Signed for printing 30.09.2024. Size 60x90/8. Offset Paper. Font Times New Roman  
Risograph printing. Conventional printed sheets 43,25. Number of copies 300. Order 1024/691

---

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](mailto: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, 2024



## БІОЛОГІЯ

UDC 577.591.1

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.1>

### DYNAMICS OF NON-HEME IRON CONTENT IN MYOCARDIUM AND HEME OXYGENASE ACTIVITY UNDER HYPERERGIC CONDITIONS

S. P. Beschasnyi<sup>1</sup>, S. K. Semeniuk<sup>2</sup>

*Iron is the primary element involved in gas transport by blood and is a component of antioxidant enzymes within cells. Free iron, which is not bound to proteins or other molecules, can be chemically active and play different roles in cells and tissues. However, its high chemical activity can also lead to the formation of free radicals, which can damage cells and cause oxidative stress.*

*In heart metabolism, where free radicals and oxidative stress can be harmful, control of free iron is very important. The body uses various mechanisms to control free iron levels, such as iron-binding proteins and antioxidants, to ensure the right balance and prevent possible damage.*

*The dynamics of non-heme iron content in the myocardium were investigated under conditions of "adrenaline shock". The amount of non-heme iron in the myocardium and blood plasma was determined at the beginning, middle, and end of the experiment. Simultaneously, the content of malonic dialdehyde, diene conjugates, superoxide dismutase, catalase, reduced glutathione, and hem oxygenase activity was also determined.*

*By the end of the experiment, the content of non-heme iron in the myocardium had decreased, coinciding with an increase in the activity of hemoxygenase-1. Conversely, plasma levels of non-heme iron had increased, along with an elevation in oxidative stress markers such as malondialdehyde and diene conjugates in blood plasma. The antioxidant enzyme superoxide dismutase showed a decrease initially, followed by restoration towards the end of the experiment. A similar pattern was observed in the level of reduced glutathione. These findings suggest that under conditions of myocardial metabolic damage, hem oxygenase protection is activated to counteract excessive non-heme iron accumulation, thereby shielding the heart from oxidative stress development. However, in blood plasma, the level of active iron increases, leading to heightened oxidative stress and a decrease in antioxidant enzyme levels. Towards the conclusion of the experiment, the antioxidant blood system levels stabilize.*

**Key words:** adrenaline, hemoxygenase, non-heme iron, myocardium, oxidative stress.

<sup>1</sup> Candidate of Biological Sciences (PhD in Biology),  
Associate Professor at the Department of Human Biology and Immunology  
(Kherson State University, Kherson)  
ORCID: 0000-0002-7423-4112

<sup>2</sup> Candidate of Biological Sciences (PhD in Biology),  
Associate Professor at the Department of Forestry and Park Gardening  
(Kherson State Agrarian and Economic University, Kherson)  
e-mail: [semenyuk\\_stanislaw@ukr.net](mailto:semenyuk_stanislaw@ukr.net)  
ORCID: 0000-0002-9873-7646

## ДИНАМІКА ВМІСТУ НЕГЕМООВОГО ЗАЛІЗА В МІОКАРДІ ТА АКТИВНІСТЬ ГЕМОКСИГЕНАЗИ В УМОВАХ ГІПЕРЕРГІЧНОГО ВПЛИВУ

С. П. Бесчасний, С. К. Семенюк

*Ферум є головним елементом транспорту газів кров'ю, входить до складу антиоксидантних ферментів клітини. Вільне залізо, яке не є зв'язаним з білками або іншими молекулами, може бути хімічно активним і відігравати різні ролі у клітинах та тканинах. Однак, його висока хімічна активність може також призводити до утворення вільних радикалів, що може пошкодити клітини та спричинити окислювальний стрес.*

*В метаболізмі серця, де вільні радикали та окислювальний стрес можуть бути шкідливими, контроль за вільним залізом є дуже важливим. Організм використовує різні механізми для керування рівнем вільного заліза, такі як залізов'язуючі білки та антиоксиданти, щоб забезпечити правильний баланс і запобігти можливим пошкодженням.*

*Досліджували динаміку вмісту негемового заліза в міокарді в умовах «адреналінового удару». На початку, в середині та наприкінці експерименту, визначали кількість негемового заліза у міокарді та плазмі крові. Одночасно з'ясовували вміст малонового діальдегіду, діенових кон'югатів, супероксиддисмутази, каталази, відновленого глутатіону та активність гемоксигенази.*

*Вміст негемового заліза у міокарді до кінця експерименту знижувався на тлі посилення активності гемоксигенази-1. Разом з тим, рівень негемового заліза у плазмі крові збільшувався.*

*Одночасно збільшилися показники маркерів оксидативного стресу у плазмі крові – малонового діальдегіду та діенових кон'югатів. Рівень антиоксидантного ферменту супероксиддисмутази знижувався, під кінець експерименту спостерігалось відновлення його рівня. Подібна тенденція спостерігалась при визначенні рівня відновленого глутатіону. Зазначені результати вказують на те, що в умовах метаболічного пошкодження міокарду відбувається активізація гемоксигеназного захисту від надмірного накопичення негемового заліза що захищає серце від розвитку оксидативного стресу. Проте, у плазмі крові збільшується рівень активного заліза, яке призводить до посилення оксидативного стресу в крові, відбувається підвищення вмісту маркерів оксидативного стресу на тлі зниження показників антиоксидантних ферментів. Під кінець експерименту відбувається стабілізація рівня антиоксидантної системи крові.*

**Ключові слова:** адреналін, гемоксигеназа, негемове залізо, міокард, оксидативний стрес.

### Introduction

Changes in iron metabolism in cardiomyocytes can have serious implications for heart function and overall cardiovascular health. Iron plays a dual role in oxidative stress: it can act as a source or as an object of oxidative damage (Sies, 2015; Bozzaet et al., 2020). Iron participates in reactions that lead to the formation of free radicals, in particular hydroxyl. These radicals can cause damage to cells by oxidation of lipids, proteins and nucleic acids (Aebi, 1984). Sources of iron for such reactions can be deposited free iron in cells or tissues, as well as its inadequate binding to proteins (such as transferrin and ferritin). Also, the enzyme can catalyze the formation of free radicals by the Fenton reaction, which subsequently leads to increased oxidative stress. Iron acts as a co-factor in proteins involved in basic biological processes, in particular in oxidative metabolism, storage and transport of oxygen. Iron plays an important regulatory role in cell biology; however, excessive levels of intracellular iron are toxic (Khan et al., 2011).

It should be noted that oxidative stress in the body is usually regulated by antioxidant

mechanisms that protect cells from free radical damage. When the balance between the production of free radicals and antioxidant mechanisms is disturbed, an imbalance may occur, which leads to oxidative stress and cell damage (Bozzaet et al., 2020; Sokolenko & Sokolenko, 2020).

Non-heme iron is a source of redox-active iron that can participate in the Fenton reaction to form toxic free hydroxyl radicals. The toxicity of lipophilic heme is enhanced by its ability to integrate into the hydrophobic phospholipid layer of cell membranes. As a result, oxidation of cell membrane components is enhanced, which promotes the formation of cytotoxic lipid peroxides. In the future, it increases the permeability of membranes and increases lysis and cell death (Ballat et al., 2005; Rother et al., 2005; Kumar, 2005).

Non-heme iron also stimulates leukocyte activation and migration, expression of cell adhesion molecules, induction of pro-inflammatory cytokines and acute phase proteins (Chiabrando et al., 2014; Bozzaet et al., 2020). Especially these processes are dangerous to the cardiovascular system.



Deposition of iron in the myocardium occurs through L-type calcium channels and through endosomes (Stamenkovic et al., 2019; Fuhrmann & Brüne, 2022). First, the iron accumulates in the myocardium of the ventricles and later in the atria. Deposition of iron in myocardial cells occurs in the form of ferritin and hemosiderin (Santambrogio et al., 2007). These are the two main forms in which iron is stored in the body. Both forms can cause tissue damage through the formation of free radicals, potentially leading to cardiomyopathy and other heart diseases (Theil, 2013). Ferritin is a protein complex that serves as the primary intracellular protein for iron storage and releases it in a controlled manner. Hemosiderin is a less soluble form of iron storage, which is produced as a result of ferritin breakdown. The accumulation of hemosiderin can occur with iron overload or hemochromatosis (Santambrogio et al., 2007).

Antioxidant reserves of cells are not unlimited, free radicals accumulate, lipid peroxidation, and cell membrane damage are triggered. Thus, myocardial overload by the enzyme causes myocardial dysfunction (Wagener et al., 2001; Beschasnyi, 2022).

The purpose of this study was to find out how the dynamics of non-heme iron change under conditions of hyperergic effects on the myocardium.

### **Material and methods**

Outbred male laboratory mice at the age of 8 weeks were used in the experiments. At this age, the physiological parameters of mice are more stable, which is important for obtaining reliable and reproducible results. Additionally, 8-month-old mice are approximately equivalent to a human age of 30–40 years, making the results more relevant for application to humans (Paulter, 2004). The animals were kept in plastic cages with a 12-hour light regime, they had free access to food and water. Mice were randomly divided into two groups ( $n = 15$  in each group). Metabolic myocardial infarction (MMI) was simulated in an experimental group of animals by intracranial epinephrine administration (1 mg/kg) for 4 hours (Todd et al., 1985). Animals in the control group were injected with an equivalent volume of saline.

In plasma and myocardium on the first, seventh and fourteenth days, the content of non-heme iron (NHI) was determined using a colorimetric analysis based on the reaction of non-heme iron with a batofenanthropin reagent (Duarte & Neves, 2022).

The determination of malondialdehyde (MDA) was carried out spectrophotometrically. To perform the analysis, blood plasma was diluted with 0.1-molar phosphate buffer (pH 7.4) and incubated for 10 minutes. Then, a 1-molar solution of potassium permanganate and a 10-molar solution of ferric oxide were added, followed by a reaction with 2-thiobarbituric acid (Draper et al., 1993; Tsikas, 2017).

To determine the content of diene conjugates (DC), 4 ml of a heptane-isopropanol mixture (1:1) was added to 0.2 ml of blood plasma and mixed for 30 minutes in a laboratory mixer. The separation of the heptane and aqueous isopropanol phases was achieved by adding a hydrochloric acid solution. After settling and stratification of the mixture, a heptane layer was selected, in which acetyl hydroperoxides were measured by the degree of light absorption at a wavelength of 233 nm (Blair, 2006).

Determination of superoxide dismutase (SOD) activity in red blood cells was performed by spectrophotometric method (Babior & Kipnes, 1976; Bannister et al., 1987). Catalase activity was also determined spectrophotometrically, by the ability of ammonium molybdate to form a stable colored complex with hydrogen peroxide (Aebi, 1984). Reduced glutathione (GSH) was determined by glutathione peroxidase activity using hydrogen peroxide as a reducing substrate and Elman reagent (Blair, 2010). Hemoxygenase (NO-1) activity was determined using methemalbumin incubation medium, NADPH and phosphate buffer to which supernatant from homogenate was added (King et al., 1978).

The results of the study were processed using the statistical package of the license program "STATISTICA 6.0" (StatSoftInc., USA). The normality of the distribution of indicators was established according to the Shapiro-Wilk criterion. Descriptive statistics are presented as arithmetic mean and standard deviation –  $M \pm SD$ . Comparison of indicators was carried out using the non-parametric Kraskell-Wallis method, followed by pairwise comparison of groups using the non-parametric Mann-Whitney test. Differences were considered significant at  $p < 0.05$ .

### **Results and discussion**

Damage to an abnormally high number of red blood cells leads to the release of hemoglobin, which is a powerful prooxidant, a significant amount of iron accumulates in the blood (Bettiol et al., 2022). This is especially evident during ischemic damage

to the heart, intravascular hemolysis. The results of the study showed that the content of non-heme iron in the heart tissue decreased during the fourteen days of the experiment. The lowest level was set on the seventh day of the experiment (Fig. 1-A). Compared with the control ( $0,007 \pm 0,003\%$ ) – the level of non-heme iron decreased more than twice ( $0,003 \pm 0,0002\%$  of dry weight tissue). At the end of the experiment, the NHI content began to increase slightly ( $0,004 \pm 0,0002\%$ ), which is probably due to the activity of the hemoxigenase system.

The NHI content in plasma differed from the NHI content in the myocardium. On the seventh day, the level of NHI increased to a maximum level of  $1.46 \pm 0.073$  mol/L (at the start of the experiment it was  $0.399 \pm 0.019$  mol/L). At the end of the experiment, the indicator was also high –  $1.349 \pm 0.063$  mol/L (Fig. 1-B).

MDA is known to be a reactive compound, which can damage cellular structures and functions. Such lesions can play a role in the development of various diseases, such as cardiovascular diseases, diabetes, chronic kidney diseases and others. An increase in the level of MDA in the body can serve as a sign of oxidative stress and may indicate the presence of pathological processes. MDA level measurement is used as a biomarker of oxidative damage in the body (Ayala et al., 2014). Interesting were the results of measuring the

level of MDA and diene conjugates in animals with metabolic myocardial infarction (Fig. 2).

The level of MDA in the blood increased maximally on the seventh day ( $12,87 \pm 0,64$  mmol/l) after the metabolic myocardial infarction (Fig. 2.A). On the fourteenth day, the level of MDA did not differ from the previous indicator ( $13,41 \pm 0,67$  mmol/l). Regarding the level of diene conjugates – at the beginning of the experiment there was no significant increase in the level ( $1.17 \pm 0.05$  OD/ml) compared to control ( $1.08 \pm 0.04$  OD/ml) of these by-products of lipid peroxidation (Fig. 2.B). However, on the seventh ( $1.35 \pm 0.06$  OD/ml) and fourteenth days ( $1.53 \pm 0.06$  OD/ml), there was an increase in the level of diene conjugates, which is consistent with an increase in the level of MDA.

The activity of superoxide dismutase by the seventh day of the experiment was significantly ( $p \leq 0,05$ ) reduced ( $2.61 \pm 0.13$  units/ml), but at the end of the experiment, it almost returned to the level of control ( $3.42 \pm 0.17$  units/ml) (Fig. 3-A). Catalase indicators were somewhat different. At the beginning of the experiment, there was a decrease in its activity ( $5.22 \pm 0.26$  mol/L/min). On the seventh day, the activity increased ( $9.18 \pm 0.45$  mol/L/min), but at the end of the experiment, it decreased again in comparison with the control ( $6.03 \pm 0.3$  mol/L/min) (Fig. 3-B).

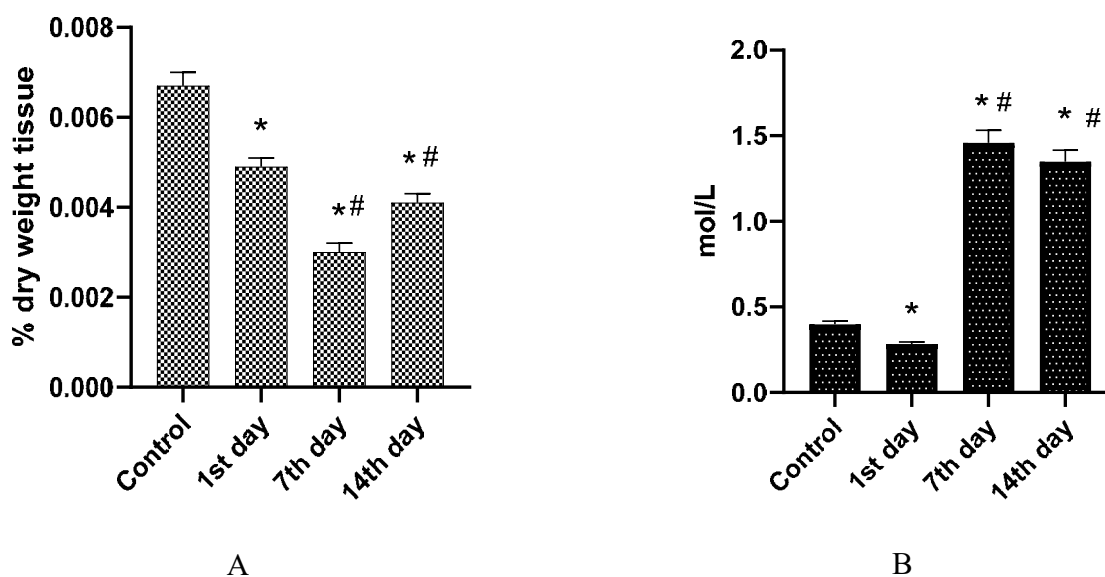


Fig. 1. Dynamics of non-heme iron content in heart tissue (A) and blood plasma (B) under conditions of metabolic myocardial infarction

Notes: \* – significant differences from the corresponding indicators in the control group,  $p \leq 0,05$ ; # – significant differences from the corresponding indicators from the previous period,  $p \leq 0,05$

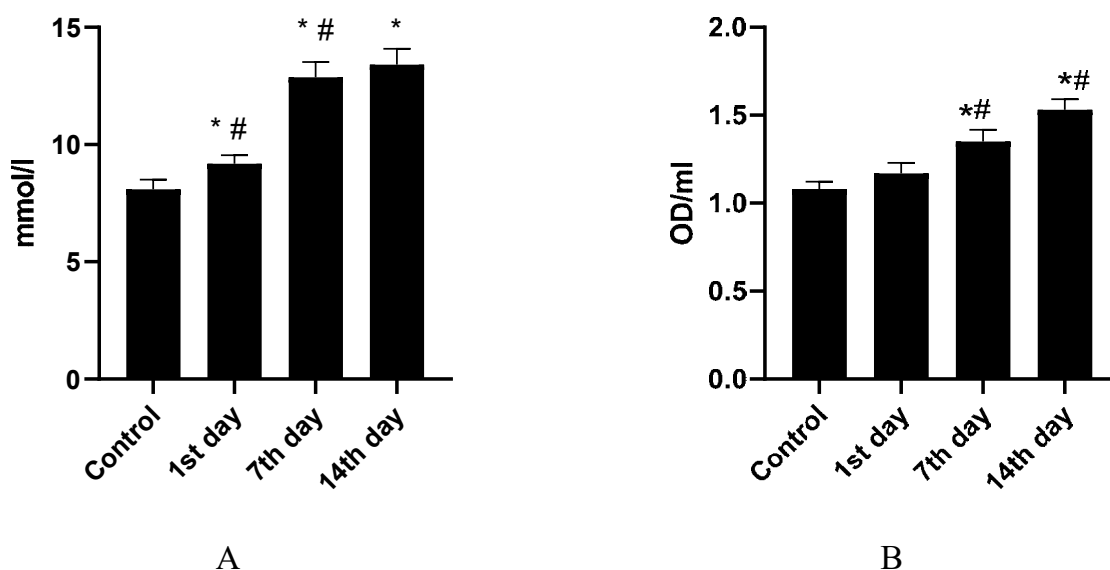


Fig. 2. Plasma levels of malonic dialdehyde (A) and diene conjugates (B) under hyperergic stimulation

Notes: \* – significant differences from the corresponding indicators in the control group,  $p \leq 0,05$ ; # – significant differences from the corresponding indicators from the previous period,  $p \leq 0,05$

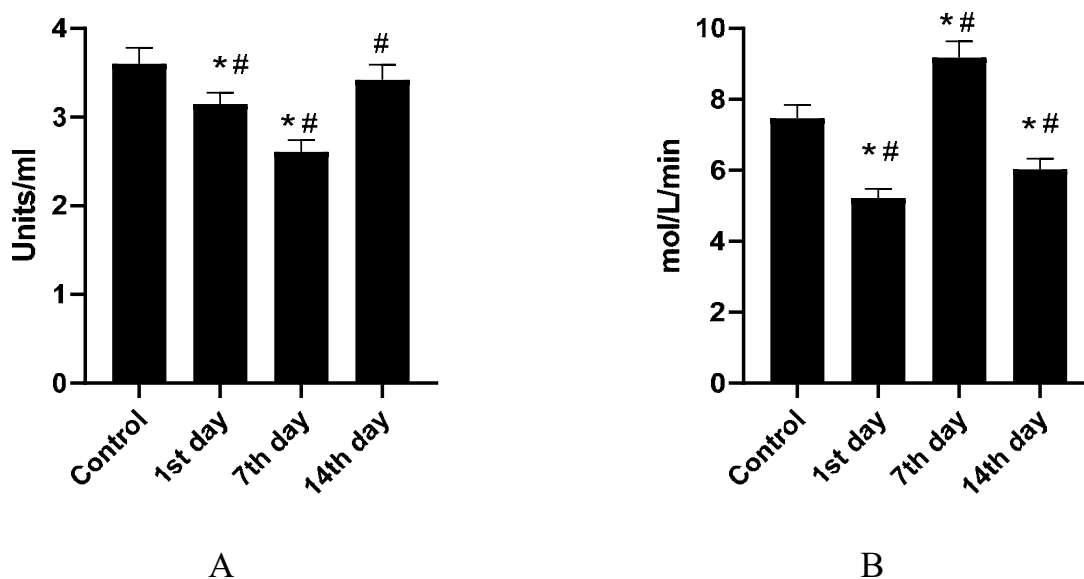


Fig. 3. Activity of superoxide dismutase (A) and catalase (B) in blood plasma under the influence of hyperergic stimulation

Notes: \* – significant differences from the corresponding indicators in the control group,  $p \leq 0,05$ ; # – significant differences from the corresponding indicators from the previous period,  $p \leq 0,05$

Interesting was the dynamics of reduced glutathione (Fig. 4). In the first days after MIM, there was a decrease in its level ( $3.87 \pm 0.15$  mg/ml) in red blood cell hemolysate (compared with the control). On the seventh and fourteenth days ( $6.39 \pm 0.31$  mg/ml and  $5.85 \pm 0.29$  actually), its contents began

to recover (compared to the first day of the experiment), but did not reach the level of control ( $9.54 \pm 0.47$  mg/ml).

Regarding the activity of hemoxygenase (NO-1) – in the first days after MIM, its level did not increase. On the seventh day, there was an increase in NO-1 activity

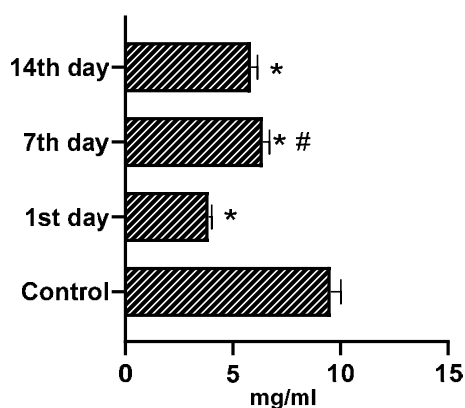


Fig. 4. Reduced glutathione content in red blood cell hemolysate of the study groups

Notes: \* – significant differences from the corresponding indicators in the control group,  $p \leq 0,05$ ; # – significant differences from the corresponding indicators from the previous period,  $p \leq 0,05$

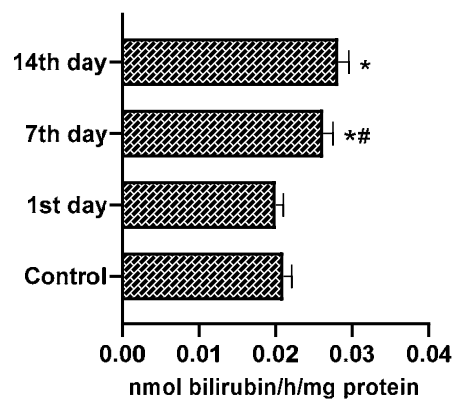


Fig. 5. Hemoxygenase activity in the myocardium of the study groups

Notes: \* – significant differences from the corresponding indicators in the control group,  $p \leq 0,05$ ; # – significant differences from the corresponding indicators from the previous period,  $p \leq 0,05$

( $0.026 \pm 0.001$  nmol bilirubin/h/mg protein), which lasted until the end of the experiment ( $0.028 \pm 0.001$  nmol bilirubin/h/mg protein) (Fig. 5). At the same time, a significant increase occurred on the 7th day of the experiment. The results obtained are consistent with a decrease in the level of non-heme iron in the myocardium and an increase in its level in the blood.

It is known that “free” iron has pro-inflammatory properties, in particular, it causes the activation and migration of leukocytes, the formation of reactive oxygen species, and increases vascular permeability (Wagener et al., 2001; Graça-Souza et al., 2002). Heme also acts as a chemotactic molecule for neutrophils, inducing the formation of leukotriene B4 (Monteiro et al., 2011). Some studies indicate the participation of the non-heme enzyme in the development of heme-associated dysfunction of the endothelium and atherosclerosis (Müllebner et al., 2015; Miguel et al., 2021; Bettiolet et al., 2022).

Under the conditions of MIM, the content of non-heme iron in the heart tissue is reduced (up to the level of  $0,003 \pm 0,0002\%$  of dry weight tissue) against the background of its increased level in blood plasma ( $1.46 \pm 0.073$  mol/L). At the same time, the level of malonic dialdehyde ( $12,87 \pm 0,64$  mmol/l) and diene conjugates ( $1.53 \pm 0.06$  OD/ml) in blood plasma increased, indicating the development of oxidative stress.

The development of oxidative stress is also evidenced by a decrease in the activity of antioxidant enzymes superoxide dismutase ( $2.61 \pm 0.13$  units/ml) and catalase

( $5.22 \pm 0.26$  mol/L/min). A decrease in the activity of reduced glutathione is also consistent with this ( $3.87 \pm 0.15$  mg/ml). However, at the end of the experiment, the adaptation of enzyme systems occurs – superoxide dismutase restores its activity up to the level of  $3.42 \pm 0.17$  units/ml.

Hemoxygenase is known to play an important role in protecting cells from excessive amounts of non-heme iron. In particular, HO-1 protects mitochondria that are susceptible to hemin (Müllebner et al., 2015). It is proved that HO-1 protects cells from ferroptosis. This can explain the increase in HO-1 activity in the myocardium, especially during the middle and end of the experiment. Surely the increase in HO-1 activity leads to an increase in the level of non-heme iron in the blood plasma, which is protective. Thereby, the protection of cardiomyocytes from ferroptosis is realized.

Prospects for further research is to study the participation of hemoxygenase in the development of the process of myocardial ferroptosis.

### Conclusions

Under the conditions of metabolic myocardial infarction, there is an increase in the level of non-heme iron in blood plasma against the background of a decrease in its level in the myocardium.

The decrease in the level of non-heme iron in the myocardium is the result of the activation of hemoxygenase, which performs a protective antioxidant function, protecting the myocardium from the development of ferroptosis, overload from non-heme iron.

“Adrenaline kick” at the beginning of the experiment causes a decrease in the activity of antioxidant enzymes superoxide dismutase and catalase, a decrease in the level of reduced glutathione. However, by the end of the experiment, there was a restoration of the activity of these enzymes and a partial increase in the level of reduced glutathione.

### Bibliography

- Aebi H. Oxygen radicals in biological systems. *Methods. Enzymol.* 1984. № 105 (1947). P. 121–126.
- Ayala A., Muñoz M.F., Argüelles S. Lipid peroxidation: production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. *Oxidative medicine and cellular longevity.* 2014. 360438. <https://doi.org/10.1155/2014/360438>.
- Babior B.M., Kipnes R.S. Oxidation of epinephrine by a cell-free system from human granulocytes. *Blood.* 1976. № 47 (3). p. 461–471.
- Balla J., Vercellotti G.M., Jeney V., Yachie A., Varga Z., Eaton J.W., Balla G. Heme, heme oxygenase and ferritin in vascular endothelial cell injury. *Molecular nutrition & food research.* 2005. № 49 (11). p. 1030–1043. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200500076>.
- Bannister J.V., Calabrese L. Assays for superoxide dismutase. *Methods of biochemical analysis.* 1987. № 32. P. 279–312. <https://doi.org/10.1002/9780470110539.ch5>.
- Beschasnyi S.P. CORM-2 affects level of malondialdehyde and expression of myocardial markers PTGS2, ANP, BNP, MVH7 under induced ferroptosis. *Prirodničij al'manah. Seriâ: biologičninauki.* 2022. № 32. P. 47–54. <https://doi.org/10.32999/ksu2524-0838/2022-32-5>.
- Beschasnyi S.P., Hasiuk O.M. The carbon monoxide donor, topiramate, and blockers of aquaporine receptors decrease myocardial ischemia-reperfusion injury. *Fiziologičnyi Zhurnal.* 2021. № 67 (5). p. 30–38. <https://doi.org/10.15407/fz67.05.030>.
- Beschasnyi S.P., Hasiuk O.M. Carbon Monoxide and Their Donor (CORM-2) Change the Healing Rate of Skin Wound Healing in Mice Through Reduced Expression of Aquaporin-3. *Fabard Journal of Pharmaceutical Sciences.* 2023. № 48.1. p. 1–10. <https://doi.org/10.55262/fabardeczacilik.1095369>.
- Bettiol A., Galora S., Argento F.R., Fini E., Emmi G., Mattioli I., Bagni G., Fiorillo C., Becatti M. Erythrocyte oxidative stress and thrombosis. *Expert reviews in molecular medicine.* 2022. № 24, e31. <https://doi.org/10.1017/erm.2022.25>.
- Blair I.A. Endogenous glutathione adducts. *Current drug metabolism.* 2006. № 7 (8). P. 853–872. <https://doi.org/10.2174/138920006779010601>.
- Blair I.A. Analysis of endogenous glutathione-adducts and their metabolites. *Biomedical chromatography: BMC.* 2010. № 24 (1). P. 29–38. <https://doi.org/10.1002/bmc.1374>.
- Bozza M.T., Jeney V. Pro-inflammatory Actions of Heme and Other Hemoglobin-Derived DAMPs. *Frontiers in immunology.* 2020. № 11. P. 1323. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.01323>.
- Chiabrando D., Vinchi F., Fiorito V., Mercurio S., Tolosano E. Heme in pathophysiology: a matter of scavenging, metabolism and trafficking across cell membranes. *Frontiers in pharmacology.* 2014. № 5. P. 61. <https://doi.org/10.3389/fphar.2014.00061> [in English].
- Draper H.H., Squires E.J., Mahmoodi H., Wu J., Agarwal S., Hadley M. A comparative evaluation of thiobarbituric acid methods for the determination of malondialdehyde in biological materials. *Free radical biology & medicine.* 1993. № 15 (4). P. 353–363. [https://doi.org/10.1016/0891-5849\(93\)90035-s](https://doi.org/10.1016/0891-5849(93)90035-s).
- Duarte T.L., Neves J.V. Measurement of Tissue Non-Heme Iron Content using a Bathophenanthroline-Based Colorimetric Assay. *Journal of visualized experiments: JoVE.* 2022. 179. <https://doi.org/10.3791/63469>.
- Fuhrmann D.C., Brüne B. A graphical journey through iron metabolism, microRNAs, and hypoxia in ferroptosis. *Redox biology.* 2022. № 54. 102365. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2022.102365>.
- Graça-Souza A.V., Arruda M.A., de Freitas M.S., Barja-Fidalgo C., Oliveira P.L. Neutrophil activation by heme: implications for inflammatory processes. *Blood.* 2022. № 99 (11). P. 4160–4165. <https://doi.org/10.1182/blood.v99.11.4160>.
- Khan A.A., Quigley J.G. Control of intracellular heme levels: heme transporters and hemeoxygenases. *Biochimica et biophysica acta.* 2011. № 1813 (5), p. 668–682. <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2011.01.008>.
- King R.F., Brown S.B. The mechanism of haem catabolism. A study of haem breakdown in spleen microsomal fraction and in a model system by <sup>18</sup>O labelling and metal substitution. *The Biochemical journal.* 1978. № 174 (1). P. 103–109. <https://doi.org/10.1042/bj1740103>.

Kumar S., Bandyopadhyay U. Free heme toxicity and its detoxification systems in human. *Toxicology letters*. 2005. № 157 (3). P. 175–188. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2005.03.004> [in English].

Miguel L.I., Leonardo F.C., Torres L.S., Garcia F., Mendonça R., Ferreira W.A. Jr., Gotardo Ê.M.F., Fabris F.C.Z., Brito P.L., Costa F.F., Conran N. Heme induces significant neutrophil adhesion in vitro via an NFκB and reactive oxygen species-dependent pathway. *Molecular and cellular biochemistry*. 2021. № 476 (11). P. 3963–3974. <https://doi.org/10.1007/s11010-021-04210-5>.

Monteiro A.P., Pinheiro C.S., Luna-Gomes T., Alves L.R., Maya-Monteiro C.M., Porto B.N., Barja-Fidalgo C., Benjamim C.F., Peters-Golden M., Bandeira-Melo C., Bozza M.T., Canetti C. Leukotriene B4 mediates neutrophil migration induced by heme. *Journal of immunology (Baltimore, Md.: 1950)*. 2011. № 186 (11). P. 6562–6567. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.1002400>.

Müllebnner A., Moldzio R., Redl H., Kozlov A.V., Duvigneau J.C. Heme Degradation by Heme Oxygenase Protects Mitochondria but Induces ER Stress via Formed Bilirubin. *Biomolecules*. 2015. № 5 (2). P. 679–701. <https://doi.org/10.3390/biom5020679>.

Pautler R.G. Mouse MRI: concepts and applications in physiology. *Physiology (Bethesda, Md.)*. 2004. 19. P. 168–175. <https://doi.org/10.1152/physiol.00016.2004>.

Rother R.P., Bell L., Hillmen P., Gladwin M.T. The clinical sequelae of intravascular hemolysis and extracellular plasma hemoglobin: a novel mechanism of human disease. *JAMA*. 2015. № 293 (13). P. 1653–1662. <https://doi.org/10.1001/jama.293.13.1653>.

Santambrogio P., Biasiotto G., Sanvito F., Olivieri S., Arosio P., Levi S. Mitochondrial ferritin expression in adult mouse tissues. *The journal of histochemistry and cytochemistry: official journal of the Histochemistry Society*. 2007. № 55 (11). P. 1129–1137. <https://doi.org/10.1369/jhc.7A7273.2007>.

Sies H. Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine. *Redox biology*. 2015. № 4. P. 180–183. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2015.01.002> [in English].

Sokolenko V.L., Sokolenko S.V. Parameters of lipid and oxidative-antioxidant status in persons aged 18–23 from radiation-contaminated areas under conditions of moderate physical activity. *Physical Education of Students*. 2020. № 24 (5). p. 293–303. <https://doi.org/10.15561/20755279.2020.0506>.

Stamenkovic A., Pierce G.N., Ravandi A. Phospholipid oxidation products in ferroptotic myocardial cell death. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*. 2019. № 317 (1). P. H156–H163. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00076.2019>.

Todd G.L., Baroldi G., Pieper G.M., Clayton F.C., Eliot R.S. Experimental catecholamine-induced myocardial necrosis. I. Morphology, quantification and regional distribution of acute contraction band lesions. *Journal of molecular and cellular cardiology*. 1985. № 17 (4). P. 317–338. [https://doi.org/10.1016/s0022-2828\(85\)80132-2](https://doi.org/10.1016/s0022-2828(85)80132-2).

Theil E.C. Ferritin: the protein nanocage and iron biomineral in health and in disease. *Inorganic chemistry*. 2013. № 52 (21). P. 12223–12233. <https://doi.org/10.1021/ic400484n>.

Tsikakos D. Assessment of lipid peroxidation by measuring malondialdehyde (MDA) and relatives in biological samples: Analytical and biological challenges. *Analytical biochemistry*. 2017. № 524. P. 13–30. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2016.10.021>.

Wagener F.A., Eggert A., Boerman O.C., Oyen W.J., Verhofstad A., Abraham N.G., Adema G., van Kooyk Y., de Witte T., Figdor C.G. Heme is a potent inducer of inflammation in mice and is counteracted by heme oxygenase. *Blood*. 2001. № 98 (6). P. 1802–1811. <https://doi.org/10.1182/blood.v98.6.1802>.

## References

Aebi, H. (1984). Oxygen radicals in biological systems. *Methods. Enzymol*, 105 (1947), 121–126 [in English].

Ayala, A., Muñoz, M.F., & Argüelles, S. (2014). Lipid peroxidation: production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 360438. <https://doi.org/10.1155/2014/360438> [in English].

Babior, B.M., & Kipnes, R.S. (1976). Oxidation of epinephrine by a cell-free system from human granulocytes. *Blood*, 47 (3), 461–471 [in English].

Balla, J., Vercellotti, G.M., Jeney, V., Yachie, A., Varga, Z., Eaton, J.W., & Balla, G. (2005). Heme, heme oxygenase and ferritin in vascular endothelial cell injury. *Molecular nutrition & food research*, 49 (11), 1030–1043. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200500076> [in English].

- Bannister, J.V., & Calabrese, L. (1987). Assays for superoxide dismutase. *Methods of biochemical analysis*, 32, 279–312. <https://doi.org/10.1002/9780470110539.ch5> [in English].
- Beschasnyi, S.P. (2022). CORM-2 affects level of malondialdehyde and expression of myocardial markers PTGS2, ANP, BNP, MVH7 under induced ferroptosis. *Prirodničij al'manah. Seriâ: biologičninauki*, 32, 47–54. <https://doi.org/10.32999/ksu2524-0838/2022-32-5> [in English].
- Beschasnyi, S.P., & Hasiuk, O.M. (2021). The carbon monoxide donor, topiramate, and blockers of aquaporine receptors decrease myocardial ischemia-reperfusion injury. *Fiziologičnyj Zhurnal*, 67 (5), 30–38. <https://doi.org/10.15407/fz67.05.030> [in English].
- Beschasnyi, S.P., & Hasiuk, O.M. (2023). Carbon Monoxide and Their Donor (CORM-2) Change the Healing Rate of Skin Wound Healing in Mice Through Reduced Expression of Aquaporin-3. *Fabad Journal of Pharmaceutical Sciences*, 48.1, 1–10. <https://doi.org/10.55262/fabadezczacilik.1095369> [in English].
- Bettiol, A., Galora, S., Argento, F.R., Fini, E., Emmi, G., Mattioli, I., Bagni, G., Fiorillo, C., & Becatti, M. (2022). Erythrocyte oxidative stress and thrombosis. *Expert reviews in molecular medicine*, 24, e31. <https://doi.org/10.1017/erm.2022.25> [in English].
- Blair, I.A. (2006). Endogenous glutathione adducts. *Current drug metabolism*, 7 (8), 853–872. <https://doi.org/10.2174/138920006779010601> [in English].
- Blair, I.A. (2010). Analysis of endogenous glutathione-adducts and their metabolites. *Biomedical chromatography: BMC*, 24 (1), 29–38. <https://doi.org/10.1002/bmc.1374> [in English].
- Bozza, M.T., & Jeney, V. (2020). Pro-inflammatory Actions of Heme and Other Hemoglobin-Derived DAMPs. *Frontiers in immunology*, 11, 1323. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.01323> [in English].
- Chiabrando, D., Vinchi, F., Fiorito, V., Mercurio, S., & Tolosano, E. (2014). Heme in pathophysiology: a matter of scavenging, metabolism and trafficking across cell membranes. *Frontiers in pharmacology*, 5, 61. <https://doi.org/10.3389/fphar.2014.00061> [in English].
- Draper, H.H., Squires, E.J., Mahmoodi, H., Wu, J., Agarwal, S., & Hadley, M. (1993). A comparative evaluation of thiobarbituric acid methods for the determination of malondialdehyde in biological materials. *Free radical biology & medicine*, 15 (4), 353–363. [https://doi.org/10.1016/0891-5849\(93\)90035-s](https://doi.org/10.1016/0891-5849(93)90035-s) [in English].
- Duarte, T.L., & Neves, J.V. (2022). Measurement of Tissue Non-Heme Iron Content using a Bathophenanthroline-Based Colorimetric Assay. *Journal of visualized experiments: JoVE*, 179, 10.3791/63469. <https://doi.org/10.3791/63469> [in English].
- Fuhrmann, D.C., & Brüne, B. (2022). A graphical journey through iron metabolism, microRNAs, and hypoxia in ferroptosis. *Redox biology*, 54, 102365. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2022.102365> [in English].
- Graça-Souza, A.V., Arruda, M.A., de Freitas, M.S., Barja-Fidalgo, C., & Oliveira, P.L. (2002). Neutrophil activation by heme: implications for inflammatory processes. *Blood*, 99 (11), 4160–4165. <https://doi.org/10.1182/blood.v99.11.4160> [in English].
- Khan, A.A., & Quigley, J.G. (2011). Control of intracellular heme levels: heme transporters and hemoxygenases. *Biochimica et biophysica acta*, 1813 (5), 668–682. <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2011.01.008> [in English].
- King, R.F., & Brown, S.B. (1978). The mechanism of haem catabolism. A study of haem breakdown in spleen microsomal fraction and in a model system by <sup>18</sup>O labelling and metal substitution. *The Biochemical journal*, 174 (1), 103–109. <https://doi.org/10.1042/bj1740103> [in English].
- Kumar, S., & Bandyopadhyay, U. (2005). Free heme toxicity and its detoxification systems in human. *Toxicology letters*, 157 (3), 175–188. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2005.03.004> [in English].
- Miguel, L.I., Leonardo, F.C., Torres, L.S., Garcia, F., Mendonça, R., Ferreira, W.A., Jr., Gotardo, E.M.F., Fabris, F.C.Z., Brito, P.L., Costa, F.F., & Conran, N. (2021). Heme induces significant neutrophil adhesion in vitro via an NFκB and reactive oxygen species-dependent pathway. *Molecular and cellular biochemistry*, 476 (11), 3963–3974. <https://doi.org/10.1007/s11010-021-04210-5> [in English].
- Monteiro, A.P., Pinheiro, C.S., Luna-Gomes, T., Alves, L.R., Maya-Monteiro, C.M., Porto, B.N., Barja-Fidalgo, C., Benjamim, C.F., Peters-Golden, M., Bandeira-Melo, C., Bozza, M.T., & Canetti, C. (2011). Leukotriene B4 mediates neutrophil migration induced by heme. *Journal of immunology (Baltimore, Md.: 1950)*, 186 (11), 6562–6567. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.1002400> [in English].

- Müllebner, A., Moldzio, R., Redl, H., Kozlov, A.V., & Duvigneau, J.C. (2015). Heme Degradation by Heme Oxygenase Protects Mitochondria but Induces ER Stress via Formed Bilirubin. *Biomolecules*, 5 (2), 679–701. <https://doi.org/10.3390/biom5020679> [in English].
- Pautler, R.G. (2004). Mouse MRI: concepts and applications in physiology. *Physiology (Bethesda, Md.)*, 19, 168–175. <https://doi.org/10.1152/physiol.00016.2004> [in English].
- Rother, R.P., Bell, L., Hillmen, P., & Gladwin, M.T. (2005). The clinical sequelae of intravascular hemolysis and extracellular plasma hemoglobin: a novel mechanism of human disease. *JAMA*, 293 (13), 1653–1662. <https://doi.org/10.1001/jama.293.13.1653> [in English].
- Santambrogio, P., Biasiotto, G., Sanvito, F., Olivieri, S., Arosio, P., & Levi, S. (2007). Mitochondrial ferritin expression in adult mouse tissues. *The journal of histochemistry and cytochemistry: official journal of the Histochemistry Society*, 55 (11), 1129–1137. <https://doi.org/10.1369/jhc.7A7273.2007> [in English].
- Sies, H. (2015). Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine. *Redox biology*, 4, 180–183. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2015.01.002> [in English].
- Sokolenko, V.L., & Sokolenko, S.V. (2020). Parameters of lipid and oxidative-antioxidant status in persons aged 18–23 from radiation-contaminated areas under conditions of moderate physical activity. *Physical Education of Students*, 24 (5), 293–303. <https://doi.org/10.15561/20755279.2020.0506> [in English].
- Stamenkovic, A., Pierce, G.N., & Ravandi, A. (2019). Phospholipid oxidation products in ferroptotic myocardial cell death. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*, 317 (1), H156–H163. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00076.2019> [in English].
- Todd, G.L., Baroldi, G., Pieper, G.M., Clayton, F.C., & Eliot, R.S. (1985). Experimental catecholamine-induced myocardial necrosis. I. Morphology, quantification and regional distribution of acute contraction band lesions. *Journal of molecular and cellular cardiology*, 17 (4), 317–338. [https://doi.org/10.1016/s0022-2828\(85\)80132-2](https://doi.org/10.1016/s0022-2828(85)80132-2) [in English].
- Theil, E.C. (2013). Ferritin: the protein nanocage and iron biomineral in health and in disease. *Inorganic chemistry*, 52 (21), 12223–12233. <https://doi.org/10.1021/ic400484n> [in English].
- Tsikakos, D. (2017). Assessment of lipid peroxidation by measuring malondialdehyde (MDA) and relatives in biological samples: Analytical and biological challenges. *Analytical biochemistry*, 524, 13–30. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2016.10.021> [in English].
- Wagener, F.A., Eggert, A., Boerman, O.C., Oyen, W.J., Verhofstad, A., Abraham, N.G., Adema, G., van Kooyk, Y., de Witte, T., & Figdor, C.G. (2001). Heme is a potent inducer of inflammation in mice and is counteracted by heme oxygenase. *Blood*, 98 (6), 1802–1811. <https://doi.org/10.1182/blood.v98.6.1802> [in English].

Отримано: 17.06.2024  
Прийнято: 12.08.2024





UDC 579.663

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.2>

## OPTIMIZATION OF CULTURE MEDIA FOR INDUSTRIAL CULTIVATION OF THE RECOMBINANT STRAIN *ESCHERICHIA COLI* BL21

I. M. Bobyr<sup>1</sup>, V. L. Bondarenko<sup>2</sup>, O. S. Iungin<sup>3</sup>

*This study presents a comprehensive analysis of scientific literature published between 2019 and 2024, indexed in Web of Science and Scopus databases. The review focuses on identifying optimization strategies for culture media to enhance the industrial cultivation of Escherichia coli BL21 strain for the production of recombinant proteins. This strain is widely used in industry due to its lack of certain proteases, making it ideal for producing stable protein products. The research highlights key factors influencing protein expression and biomass growth, including carbon and nitrogen sources, trace elements, additional components, and pH levels. Altering these key factors can increase cell yield and product quality. The analysis revealed that optimizing the culture medium composition through the use of alternative carbon and nitrogen sources can significantly improve bacterial cell growth and impact the quantity and quality of the recombinant protein. Alcohols such as mannitol and glycerol, sugars like lactose, as well as sugar-containing by-products from the food industry can be used as alternative carbon sources (blackstrap molasses, corn-steep liquor and whey). Additionally, complex compounds like lignocellulose can be utilized. Many alternative carbon sources can also provide nitrogen. The use of alternative carbon and nitrogen sources, on the one hand, can reduce the cost of recombinant protein production and thus affect bioeconomy, but on the other hand, can influence metabolic pathways for the assimilation of other elements and alter the duration of growth phases, which is crucial for industrial microbial cultivation. Optimization of the culture medium has complex consequences, and this process should be considered holistically.*

*Key words: Escherichia coli BL21, media optimization, alternative carbon source, alternative nitrogen source, recombinant protein.*

<sup>1</sup> Chief technologist PrJSC «Indar»,  
Master Degree student  
(Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv)  
e-mail: [ibobyr@ukr.net](mailto:ibobyr@ukr.net)  
ORCID: 0009-0006-2394-8189

<sup>2</sup> Laboratory Technologist, Kyiv City Clinical Hospital № 6,  
Master Degree student  
(Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv)  
e-mail: [bondarpulemet@gmail.com](mailto:bondarpulemet@gmail.com)  
ORCID: 0009-0002-4107-8368

<sup>3</sup> PhD, Associate Professor, Associate Professor at the Biotechnologies, Leather and Fur Department  
(Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv)  
e-mail: [olgaungin@gmail.com](mailto:olgaungin@gmail.com)  
ORCID: 0000-0001-8876-6075

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПОЖИВНИХ СЕРЕДОВИЩ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО КУЛЬТИВУВАННЯ РЕКОМБІНАНТНОГО ШТАМУ *ESCHERICHIA COLI* BL21

І. М. Бобир, В. А. Бондаренко, О. С. Юнгін

В роботі відображено комплексний аналіз даних наукової літератури, опублікованої в період між 2019 і 2024 роками, відображеної в виданнях, що індексуються в базах даних *Web of Science* та *Scopus*. Огляд літератури зосереджено на визначенні можливостей оптимізації поживного середовища для промислового культивування штаму *Escherichia coli* BL21 з метою отримання рекомбінантних білків. Вказаний штам широко використовується в промисловості. Відсутність в цьому штамі певних протеаз робить його ідеальним інструментом для отримання стабільних білкових продуктів. Дослідження звертає увагу на ключові фактори, що впливають на експресію білків та приріст біомаси, включаючи джерела карбону та нітрогену, мікроелементи та додаткові компоненти, а також значення рН поживного середовища. Результатом змін цих ключових факторів є підвищення кількості клітин та якості продукту. В результаті аналізу літератури встановлено, що оптимізація складу поживного середовища через використання альтернативних джерел карбону та нітрогену може значно підвищити врожай клітин штаму бактерії та впливати на якість та кількість рекомбінантного білку. Як альтернативні джерела карбону можуть бути використані спирти – манітол, гліцерин, цукри – лактоза, а також цукровмісні сполуки, що є відходами харчової промисловості (патока, кукурудзяний екстракт, сироватка). Крім того, можливе використання комплексних сполук – лігнінцелюлози. Часто альтернативні джерела карбону можуть слугувати і джерелами нітрогену. Використання альтернативних джерел карбону та нітрогену може, з одного боку, бути одним з біоекономічних факторів здешевлення виробництва рекомбінантних білків, а з іншого боку, може впливати на метаболічні шляхи засвоєння інших елементів, та змінювати тривалість фаз росту культури, що важливо за промислового культивування мікроорганізму. Оптимізація поживного середовища має комплексні наслідки, і саме так необхідно розглядати цей процес.

**Ключові слова:** *Escherichia coli* BL21, оптимізація середовища, альтернативне джерело вуглецю, альтернативне джерело азоту, рекомбінантний білок.

### Introduction

*Escherichia coli* (*E. coli*) BL21 is a widely utilized bacterial strain for heterologous protein expression. It's a derivative of the *E. coli* B lineage and has been engineered to lack several proteases, enzymes that break down proteins. This characteristic is crucial for maintaining the stability of the target protein being produced. Due to its favorable characteristics, such as ease of cultivation, high growth rate, and the ability to express a broad spectrum of proteins, *E. coli* BL21 has become an indispensable tool in biotechnology.

The efficiency of protein expression in *E. coli* BL21 is significantly influenced by the composition of the culture medium. Optimization of the culture medium composition can lead to a substantial increase in protein yield, improved quality, and reduced production costs.

A considerable body of research has been dedicated to the optimization of culture media for *E. coli* cultivation. These studies have demonstrated that the composition of the culture medium can significantly impact protein expression, including yield, solubility, activity, and complexity.

The aim of this study is to analyze scientific publications on the optimization

of culture media for industrial cultivation of the recombinant strain *Escherichia coli* BL21, published between 2019 and 2024 in peer-reviewed journals indexed in the *Web of Science* and *Scopus* databases.

### Material and methods

The search of scientific literature published between 2019 and 2024, indexed in *Web of Science* and *Scopus* databases for this review was conducted using the following primary keywords: «*Escherichia coli* BL21», «recombinant protein expression», «culture medium optimization», and «industrial cultivation» in Google scholar and Connected papers publication resources. Additionally, supplementary keywords such as «nutrient composition», «metabolic engineering» and «fermentation parameters» were used.

In order to select relevant publications, the following search strategies were used:

1) Phrase searching – keywords were enclosed in quotation marks to search for exact matches;

2) Use of Boolean operators AND, OR, and NOT to combine keywords and refine the search;

3) Use of the wildcard character (\*) to substitute for one or more unknown characters within a keyword.

## Results

*Escherichia coli* BL21 is a widely used bacterial strain for various biotechnological applications, including protein production and biofuel synthesis. Some of the key factors that influence protein expression in *E. coli* BL21 include carbon sources, nitrogen sources, trace elements, and pH. Studies have shown that supplementing defined media with yeast extract can reduce lag phase and increase biomass production (Shukla & Mishra, 2021). Optimization techniques like Plackett-Burman and Box-Behnken designs have been used to identify significant factors, such as yeast extract and mineral concentrations, leading to increased enzyme production (Duan et al., 2020). The choice of expression system, including promoter strength and plasmid copy number, significantly impacts recombinant protein production (Lozano Terol et al., 2021). Balancing these factors is essential to maximize soluble protein expression while minimizing metabolic burden. Optimized media and expression systems can result in higher protein yields, improved stability, and enhanced product specificity, which are crucial for industrial-scale production of recombinant proteins in *E. coli* BL21 (Shahzadi et al., 2021).

**Carbon sources.** Manipulating carbon and nitrogen sources can increase recombinant protein production in *E. coli* BL21 (Lozano Terol et al., 2019). Traditionally, glucose and ammonium salts have been the primary carbon and nitrogen sources used for *E. coli* cultivation. However, exploring alternative carbon and nitrogen sources can offer several advantages, such as reduced cost, improved sustainability, and the potential to enhance recombinant protein production. One promising alternative carbon source is glycerol, a byproduct of the biodiesel industry. Glycerol has been shown to support robust growth of *E. coli* BL21 and can be utilized as a carbon source for the production of various recombinant proteins. Furthermore, the use of glycerol as a carbon source has been reported to improve the quality and yield of recombinant proteins in *E. coli*. (Lozano Terol et al., 2019)

Besides, Höhmann et al. (2024) investigated glycolate as a sole carbon source, observing that *E. coli* BL21 required extensive adaptation time but eventually reached growth rates comparable to other strains.

Lactose, another inexpensive and renewable carbon source, has also been explored as an alternative to glucose for *E. coli* BL21

cultivation. Lactose-based media can induce the *lac* operon, leading to improved recombinant protein production in *E. coli* BL21 strains engineered for lactose utilization. Moreover, combining lactose with other carbon sources, such as glucose or glycerol, can enhance bacterial growth rates and biomass production. Lactose, employed at a concentration of 10% (w/v), served as the carbon source to optimize recombinant truncated *SpA* expression in *E. coli*.

Previous research has shown that modifying the signal peptide, which guides the translocation of recombinant proteins across the cell membrane, can significantly improve the secretory production of these proteins in *E. coli* BL21. Continuous biomanufacturing processes utilizing *E. coli* often encounter a decline in productivity after approximately four to five days of cultivation, with the specific timeframe influenced by dilution rate. Glucose is a commonly employed carbon source for *E. coli* cultivation and is frequently paired with isopropyl  $\beta$ -D-1-thiogalactopyranoside (IPTG) for protein induction in these systems (Kittler et al., 2020). Khani & Bagheri (2020) proposed skimmed milk as an alternative to IPTG for inducing protein expression, reporting high levels of recombinant protein production and improved bacterial growth rates. Supplementation of critical amino acids (AAs) improves uptake rate of glycerol and lactose in wild type *E. coli* BL21(DE3) in defined medium. A feeding strategy of mixed glycerol-lactose feed along with supplement of critical AAs enhances recombinant production of pramlintide multimer. High cell density cultivation of *E. coli* using mixed glycerol-lactose feed and critical AAs supplement resulted in final cell density of  $52.2 \pm 0.90$  g L<sup>-1</sup> (Kumar et al., 2021)

Autoinduction using lactose as an inducer, combined with glycerol, glucose, and glycine as carbon sources, significantly enhanced nanobody expression compared to traditional LB medium and also reduce impurities and toxicity compared to IPTG (Rezaei et al., 2020). Surprisingly, acetate, typically considered detrimental, proved effective as a carbon source when coupled with yeast extract, resulting in high yields of a sweet protein (Leone et al., 2015). The choice of carbon and nitrogen sources greatly impacts protein production, with complex medium supplemented with glycerol showing promising results. Additionally, genetic manipulation of acetate metabolism, particularly the deletion of the *ackA* gene,

led to a fivefold increase in protein yield and reduced acetate accumulation (Lozano Terol et al., 2019). These findings highlight the importance of optimizing carbon sources and strain engineering to enhance recombinant protein production in *E. coli* BL21. Optimizing carbon sources, including glycerol, glucose, and lactose, can significantly enhance protein yield (Rezaei et al., 2020). The choice of expression system, including promoter strength and plasmid copy number, impacts protein production, with a balance needed to maximize soluble protein expression (Lozano Terol et al., 2021). While glucose-fed continuous cultivations show a productivity drop over time, glycerol-fed systems demonstrate a «Lazarus effect», recovering productivity after approximately 150 hours of induction (Kittler et al., 2020). This phenomenon may enable stabilization of continuous *E. coli* cultivation. Additionally, galactose utilization in *E. coli* BL21(DE3) might cause fluctuating productivity due to its weak induction properties (Li et al., 2021). In glucose and yeast extract combination the strain reached maximum viable cell count of 11.8 log CFU ml<sup>-1</sup> and biomass yield of 5.25 g L<sup>-1</sup> at the end of 24 hours. The next best combination with malic acid and yeast extract showed cell count of 9.25 log CFU ml<sup>-1</sup> and biomass yield of 4.13 g L<sup>-1</sup> at 24 h time. Mannitol was identified as an effective carbon source that could increase the production of CypA protein in *E. coli* BL21 recombinant strain cultivation. Interestingly, it was shown that glutamate can serve as an alternative for both carbon and nitrogen source for high production of recombinant proteins in *E. coli* BL21 (Chiang et al., 2022). More complex compounds could be used as well like, for example, the study (Wang et al., 2021) successfully demonstrated the production of bovine and human  $\alpha$ -casein proteins in *E. coli* using lignocellulosic sugars as the carbon source. This proof-of-concept is a promising starting point for producing high-value food or feed proteins from bulk residual biomass like lignocellulose, supporting a sustainable bioeconomy.

**Nitrogen sources.** While these studies focused on carbon sources, Nagappa et al. (2022) showed that common microbiology rich media (tryptone, peptone, yeast extract, and casamino acids) can effectively replace commercial amino acid sources in cell-free expression systems. However, amino acid composition of cell culture media affects trace metal tolerance and cholesterol synthesis in *E. coli* BL21 (Rawat et al., 2023). The change

in amino acid composition affected not only the expected pathways related to cell cycle and amino acid response, but also had an unexpected impact on genes involved in zinc transport. Among potential nitrogen sources that could be used for recombinant strain *E. coli* BL21 are peptone, tryptone, cheese whey, corn steep liquor. The use of some byproducts such as blackstrap molasses, corn-steep liquor and cheese whey, as an alternative for carbon and nitrogen sources of medium, were found to enhance the cell growth. In the study (Carranza-Saavedra et al., 2021) deproteinized whey as a source of carbon and nitrogen provided the highest specific growth rate of recombinant *E. coli*. Deng et al. (2022) achieved high-level expression of nitrile hydratase in *E. coli* BL21 through systematic optimization of fermentation conditions.

**Trace elements and supplements.** To ensure efficient cultivation and maximize the yields of desired products, researchers have explored various strategies to optimize the growth conditions and medium composition for *E. coli* BL21. Specifically, the supplementation of trace elements and other key nutrients has been identified as a critical factor in supporting the growth and productivity of *E. coli* BL21 cultures (Basiony et al., 2022). These micronutrients play essential roles in cellular metabolism, enzyme activity, and overall physiological function. Specifically, trace elements such as iron, magnesium, calcium, and zinc serve as cofactors for various enzymes, while vitamins like thiamine, riboflavin, and biotin act as co-enzymes, co-substrates, and regulators of metabolic pathways (Ge et al., 2023).

The appropriate selection and supplementation of these micronutrients can have a significant impact on the growth, viability, and productivity of *E. coli* BL21. For instance, insufficient levels of iron can lead to reduced cell growth and impaired respiration, as the metal is a critical component of enzymes involved in electron transport and energy production. On the other hand, optimizing the concentration of iron and other trace elements in the medium has been shown to enhance cell viability and improve the secretion of recombinant proteins, as these micronutrients provide the necessary support for efficient growth (Corless et al., 2020). Interestingly, the unintentional introduction of trace elements into the media lends further credence to this idea. Thus, trace impurities in the reagents used to prepare M9 minimal medium affected physiological activities of *E. coli*, such as cell growth,

substrate consumption, and byproduct formation (Soma et al., 2023).

One prominent study has demonstrated the potential of an integrated modeling approach to rationally optimize the bioprocess conditions for *E. coli* BL21 cultivation (Yeoh et al., 2020). The researchers developed a comprehensive model that coupled the kinetics of the cell factory with the computational fluid dynamics of the bioreactor, allowing them to capture the spatiotemporal distributions of bioproduction. Through this model-driven approach, the researchers were able to perform full-factorial predictions to identify the optimal operating conditions that yielded a bioconversion efficiency of 94% when using ferulic acid as the precursor, which represents one of the highest reported values for recombinant *E. coli* (Yeoh et al., 2020). In addition to these model-based optimization strategies, recent studies have also explored the role of specific trace elements and supplements in enhancing the viability and productivity of *E. coli* BL21 cultures. The study (Sapavatu & Kakkerla, 2023) found that a rich media combined with the trace element zinc sulfate was effective for achieving high cell density growth and high expression of the target protein (CRM197) in recombinant *E. coli*. Vitamins as well as metals could be used for media optimization. Addition of plant extracts and liposomal vitamin K1 can stimulate protein synthesis (Motronenko et al., 2020). Most defined media formulations for *E. coli* cultivation already include a basic vitamin mix (often referred to as vitamin B complex) to support general growth and metabolism. However, the specific impact of

individual vitamins on recombinant protein yield and quality in *E. coli* BL21 is still needed to be studied.

Besides nutrient availability, pH and buffering capacity also play a role in cell and product yields. Optimal pH conditions are essential for enzyme activity, protein folding, and overall cellular homeostasis. Deviations from the optimal pH can lead to reduced growth rates, decreased protein yield, and even cell death. The ideal pH range for *E. coli* BL21 is typically between 6.8 and 7.2. Augmenting the buffering capacity of M9 minimal medium resulted in approximately a twofold enhancement of heterologously expressed protein yield in *E. coli* BL21(DE3) cells (Azatian et al., 2019). The protein yield was correlated with the ability of the medium to resist changes in pH over time, with the most buffered media producing the highest yields.

### Conclusions

This study demonstrates the critical role of culture medium optimization in enhancing recombinant protein production in *E. coli* BL21. The possible carbon sources for media optimization could be lactose, glycerol and mixture of those two. The supplement of cas-aminoacids as nitrogen source and protein inducers could have valuable effect in industrial environment. Besides, an important thing is to control pH level and buffer capacity. The findings provide valuable insights for developing efficient both academic and industrial applications, while also highlighting certain limitations that must be considered.

### Bibliography

- Azatian S.B., Kaur N., Latham M.P. Increasing the buffering capacity of minimal media leads to higher protein yield. *Journal of biomolecular NMR*. 2019. № 73. P. 11–17. <https://doi.org/10.1007/s10858-018-00222-4>.
- Basiony M., Ouyang L., Wang D., Yu J., Zhou L., Zhu M., ... Zhang L. Optimization of microbial cell factories for astaxanthin production: Biosynthesis and regulations, engineering strategies and fermentation optimization strategies. *Synthetic and Systems Biotechnology*. 2022. № 7 (2). P. 689–704. <https://doi.org/10.1016/j.synbio.2022.01.002>.
- Chiang C.J., Hu M.C., Ta T., Chao Y.P. Glutamate as a non-conventional substrate for high production of the recombinant protein in *Escherichia coli*. *Frontiers in Microbiology*. 2022. № 13. 991963. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.991963>.
- Corless E.I., Mettert E.L., Kiley P.J., Antony E. (2020). Elevated expression of a functional Suf pathway in *Escherichia coli* BL21 (DE3) enhances recombinant production of an iron-sulfur cluster-containing protein. *Journal of Bacteriology*. 2020. № 202 (3). p. 10–1128. <https://doi.org/10.1128/jb.00496-19>.
- Deng S., Zhu S., Zhang X., Sun X., Ma X., Su E. High-level expression of nitrile hydratase in *Escherichia coli* for 2-amino-2, 3-dimethylbutyramide synthesis. *Processes*. 2022. № 10 (3). p. 544. <https://doi.org/10.3390/pr10030544>.

Duan M., Wang Y., Yang G., Li J., Wan Y., Deng Y., Mao Y. High-level production of  $\gamma$ -cyclodextrin glycosyltransferase in recombinant *Escherichia coli* BL21 (DE3): culture medium optimization, enzymatic properties characterization, and product specificity analysis. *Annals of Microbiology*. 2020. № 70. P. 1–13. <https://doi.org/10.1186/s13213-020-01610-8>.

Ge J., Wang X., Bai Y., Wang Y., Wang Y., Tu T., ... Zhang J. Engineering *Escherichia coli* for efficient assembly of heme proteins. *Microbial Cell Factories*. 2023. № 22 (1). P. 59. <https://doi.org/10.1186/s12934-023-02067-5>.

Hari Priya S.K., Vijila K. Effect of Different Carbon Sources and Growth Supplements on Growth and Biomass Production of Bioinoculant *Azospirillum lipoferum* Az204. *International Journal of Plant & Soil Science*. 2023. № 35 (20). p. 467–473. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i203828>.

Höhmänn S., Briol T.A., Ihle N., Frick O., Schmid A., Bühler B. Glycolate as alternative carbon source for *Escherichia coli*. *Journal of Biotechnology*. 2024. № 381. P. 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2024.01.001>.

Khani M.H., Bagheri M. Skimmed milk as an alternative for IPTG in induction of recombinant protein expression. *Protein expression and purification*. 2020. № 170. 105593. <https://doi.org/10.1016/j.pep.2020.105593>.

Kittler S., Kopp J., Veelenturf P.G., Spadiut O., Delvigne F., Herwig C., Slouka C. The Lazarus *Escherichia coli* effect: Recovery of productivity on glycerol/lactose mixed feed in continuous biomanufacturing. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 2020. № 8. P. 993. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00993>.

Kumar J., Chauhan A.S., Gupta J.A., Rathore A.S. Supplementation of critical amino acids improves glycerol and lactose uptake and enhances recombinant protein production in *Escherichia coli*. *Biotechnology Journal*. 2021. № 16 (8). 2100143. <https://doi.org/10.1002/biot.202100143>.

Leone S., Sannino F., Tutino M.L., Parrilli E., Picone D. Acetate: friend or foe? Efficient production of a sweet protein in *Escherichia coli* BL21 using acetate as a carbon source. *Microbial cell factories*. 2015. № 14. p. 1. <https://doi.org/10.1016/j.mcf.2015.02.001>.

Li Z., Geffers R., Jain G., Klawonn F., Kökpinar Ö., Nimtz M., ... Rinas U. Transcriptional network analysis identifies key elements governing the recombinant protein production provoked reprogramming of carbon and energy metabolism in *Escherichia coli* BL21 (DE3). *Engineering Reports*. 2021. № 3 (9). e12393. <https://doi.org/10.1002/eng2.12393>.

Lozano Terol G., Gallego-Jara J., Sola Martínez R.A., Martínez Vivancos A., Cánovas Díaz M., de Diego Puente T. Impact of the expression system on recombinant protein production in *Escherichia coli* BL21. *Frontiers in microbiology*. 2021. № 12. 682001. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.682001>.

Motronenko V., Lutsenko T., Galkin A., Gorshunov Y., Solovjova V. Optimization of the culture medium composition to increase the biosynthesis of recombinant human interleukin-7 in *Escherichia coli*. *The Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2020. № 9 (4). 761 p. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2020.9.4.761-768>.

Nagappa L.K., Sato W., Alam F., Chengan K., Smales C.M., Von Der Haar T., ... Moore S.J. A ubiquitous amino acid source for prokaryotic and eukaryotic cell-free transcription-translation systems. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2022. № 10. 992708. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.992708>.

Rawat J., Bhambri A., Pandey U., Banerjee S., Pillai B., Gadgil M. Amino acid abundance and composition in cell culture medium affects trace metal tolerance and cholesterol synthesis. *Biotechnology Progress*. 2023. № 39 (1). e3298. <https://doi.org/10.1002/btpr.3298>.

Sapavatu S.N., Kakkerla A. Media selection, optimization for the expression of diphtheriae toxoid in recombinant *E.coli*. *IJBPAS*, June, Special Issue, 2023. № 12 (6). P. 307–317. <https://doi.org/10.31032/ijbpas/2023/12.6.1045>.

Shukla S., Mishra D. Media Optimization for Production of Recombinant Carrier Protein (CRM 197) in *Escherichia coli*. *Journal of Scientific Research*. 2021. № 13 (1). <https://doi.org/10.3329/JSR.V13I1.48996>.

Shahzadi I., Al-Ghamdi M.A., Nadeem M.S., Sajjad M., Ali A., Khan J.A., Kazmi I. Scale-up fermentation of *Escherichia coli* for the production of recombinant endoglucanase from *Clostridium thermocellum*. *Scientific reports*. 2021. № 11 (1), 7145. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86000-z>.

Soma Y., Tominaga S., Tokito K., Imado Y., Naka K., Hanai T., ... Bamba T. Trace impurities in sodium phosphate influences the physiological activity of *Escherichia coli* in M9 minimal medium. *Scientific reports*. 2023. № 13 (1), 17396. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44526-4>.

Rezaei L., Shojaosadati S.A., Farahmand L., Moradi-Kalbolandi S. Enhancement of extracellular bispecific anti-MUC1 nanobody expression in *E. coli* BL21 (DE3) by optimization of temperature and carbon sources through an autoinduction condition. *Engineering in life sciences*. 2020. № 20 (8). P. 338–349. <https://doi.org/10.1002/elsc.201900158>.

Wang Y., Kubiczek D., Horlamus F., Raber H.F., Hennecke T., Einfalt D., ... Rosenau F. Bioconversion of lignocellulosic waste to high-value food proteins: Recombinant production of bovine and human  $\alpha$ S1-casein based on wheat straw lignocellulose. *GCB Bioenergy*. 2021. № 13 (4). P. 640–655. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12791>.

Yeoh J.W., Jayaraman S.S.O., Tan S.G.D., Jayaraman P., Holowko M.B., Zhang J., ... Poh C.L. A model-driven approach towards rational microbial bioprocess optimization. *Biotechnology and Bioengineering*. 2021. № 118 (1). p. 305–318. <https://doi.org/10.1002/bit.27571>.

Zapata Montoya J.E., Carranza Saavedra D., Sánchez Henao C.P. Kinetic analysis and modeling of L-valine production in fermentation batch from *E. coli* using glucose, lactose and whey as carbon sources. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2021.e00642> in English.

### References

Azatian, S.B., Kaur, N., & Latham, M.P. (2019). Increasing the buffering capacity of minimal media leads to higher protein yield. *Journal of biomolecular NMR*, 73, 11–17. <https://doi.org/10.1007/s10858-018-00222-4> [in English].

Basiony, M., Ouyang, L., Wang, D., Yu, J., Zhou, L., Zhu, M., ... & Zhang, L. (2022). Optimization of microbial cell factories for astaxanthin production: Biosynthesis and regulations, engineering strategies and fermentation optimization strategies. *Synthetic and Systems Biotechnology*, 7 (2), 689–704. <https://doi.org/10.1016/j.synbio.2022.01.002> [in English].

Chiang, C.J., Hu, M.C., Ta, T., & Chao, Y.P. (2022). Glutamate as a non-conventional substrate for high production of the recombinant protein in *Escherichia coli*. *Frontiers in Microbiology*, 13, 991963. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.991963> [in English].

Corless, E.I., Mettert, E.L., Kiley, P.J., & Antony, E. (2020). Elevated expression of a functional Suf pathway in *Escherichia coli* BL21 (DE3) enhances recombinant production of an iron-sulfur cluster-containing protein. *Journal of Bacteriology*, 202 (3), 10–1128. <https://doi.org/10.1128/jb.00496-19> [in English].

Deng, S., Zhu, S., Zhang, X., Sun, X., Ma, X., & Su, E. (2022). High-level expression of nitrile hydratase in *Escherichia coli* for 2-amino-2, 3-dimethylbutyramide synthesis. *Processes*, 10 (3), 544. <https://doi.org/10.3390/pr10030544> [in English].

Duan, M., Wang, Y., Yang, G., Li, J., Wan, Y., Deng, Y., & Mao, Y. (2020). High-level production of  $\gamma$ -cyclodextrin glycosyltransferase in recombinant *Escherichia coli* BL21 (DE3): culture medium optimization, enzymatic properties characterization, and product specificity analysis. *Annals of Microbiology*, 70, 1–13. <https://doi.org/10.1186/s13213-020-01610-8> [in English].

Ge, J., Wang, X., Bai, Y., Wang, Y., Wang, Y., Tu, T., ... & Zhang, J. (2023). Engineering *Escherichia coli* for efficient assembly of heme proteins. *Microbial Cell Factories*, 22 (1), 59. <https://doi.org/10.1186/s12934-023-02067-5> [in English].

Hari Priya, S.K., & Vijila, K. (2023). Effect of Different Carbon Sources and Growth Supplements on Growth and Biomass Production of Bioinoculant *Azospirillum lipoferum* Az204. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35 (20), 467–473. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i203828> [in English].

Höhmänn, S., Briol, T. A., Ihle, N., Frick, O., Schmid, A., & Bühler, B. (2024). Glycolate as alternative carbon source for *Escherichia coli*. *Journal of Biotechnology*, 381, 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2024.01.001> [in English].

Khani, M.H., & Bagheri, M. (2020). Skimmed milk as an alternative for IPTG in induction of recombinant protein expression. *Protein expression and purification*, 170, 105593. <https://doi.org/10.1016/j.pep.2020.105593> [in English].

Kittler, S., Kopp, J., Veelenturf, P.G., Spadiut, O., Delvigne, F., Herwig, C., & Slouka, C. (2020). The Lazarus *Escherichia coli* effect: Recovery of productivity on glycerol/lactose mixed feed in continuous biomanufacturing. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 8, 993. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00993> [in English].

Kumar, J., Chauhan, A.S., Gupta, J.A., & Rathore, A.S. (2021). Supplementation of critical amino acids improves glycerol and lactose uptake and enhances recombinant protein production in

*Escherichia coli*. *Biotechnology Journal*, 16 (8), 2100143. <https://doi.org/10.1002/biot.202100143> [in English].

Leone, S., Sannino, F., Tutino, M.L., Parrilli, E., & Picone, D. (2015). Acetate: friend or foe? Efficient production of a sweet protein in *Escherichia coli* BL21 using acetate as a carbon source. *Microbial cell factories*, 14, 1. <https://doi.org/10.1016/s12934-015-0299-0> [in English].

Li, Z., Geffers, R., Jain, G., Klawonn, F., Kökpinar, Ö., Nimtz, M., ... & Rinas, U. (2021). Transcriptional network analysis identifies key elements governing the recombinant protein production provoked reprogramming of carbon and energy metabolism in *Escherichia coli* BL21 (DE3). *Engineering Reports*, 3 (9), e12393. <https://doi.org/10.1002/eng2.12393> [in English].

Lozano Terol, G., Gallego-Jara, J., Sola Martínez, R.A., Martínez Vivancos, A., Cánovas Díaz, M., & de Diego Puente, T. (2021). Impact of the expression system on recombinant protein production in *Escherichia coli* BL21. *Frontiers in microbiology*, 12, 682001. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.682001> [in English].

Motronenko, V., Lutsenko, T., Galkin, A., Gorshunov, Y., & Solovjova, V. (2020). Optimization of the culture medium composition to increase the biosynthesis of recombinant human interleukin-7 in *Escherichia coli*. *The Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 9 (4), 761. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2020.9.4.761-768> [in English].

Nagappa, L.K., Sato, W., Alam, F., Chengan, K., Smales, C.M., Von Der Haar, T., ... & Moore, S.J. (2022). A ubiquitous amino acid source for prokaryotic and eukaryotic cell-free transcription-translation systems. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 992708. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.992708> [in English].

Rawat, J., Bhamri, A., Pandey, U., Banerjee, S., Pillai, B., & Gadgil, M. (2023). Amino acid abundance and composition in cell culture medium affects trace metal tolerance and cholesterol synthesis. *Biotechnology Progress*, 39 (1), e3298. <https://doi.org/10.1002/btpr.3298> [in English].

Sapavatu, S.N., & Kakkerla, A. (2023). Media selection, optimization for the expression of diphtheriae toxoid in recombinant *E.coli*. *IJBPAS*, June, Special Issue, 12 (6), 307–317. <https://doi.org/10.31032/ijbps/2023/12.6.1045> [in English].

Shukla, S., & Mishra, D. (2021). Media Optimization for Production of Recombinant Carrier Protein (CRM 197) in *Escherichia coli*. *Journal of Scientific Research*, 13 (1). <https://doi.org/10.3329/JSR.V13I1.48996> [in English].

Shahzadi, I., Al-Ghamdi, M.A., Nadeem, M.S., Sajjad, M., Ali, A., Khan, J.A., & Kazmi, I. (2021). Scale-up fermentation of *Escherichia coli* for the production of recombinant endoglucanase from *Clostridium thermocellum*. *Scientific reports*, 11 (1), 7145. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86000-z> [in English].

Soma, Y., Tominaga, S., Tokito, K., Imado, Y., Naka, K., Hanai, T., ... & Bamba, T. (2023). Trace impurities in sodium phosphate influences the physiological activity of *Escherichia coli* in M9 minimal medium. *Scientific reports*, 13 (1), 17396. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44526-4> [in English].

Rezaei, L., Shojaosadati, S.A., Farahmand, L., & Moradi-Kalbolandi, S. (2020). Enhancement of extracellular bispecific anti-MUC1 nanobody expression in *E. coli* BL21 (DE3) by optimization of temperature and carbon sources through an autoinduction condition. *Engineering in life sciences*, 20 (8), 338–349. <https://doi.org/10.1002/elsc.201900158> [in English].

Wang, Y., Kubiczek, D., Horlamus, F., Raber, H.F., Hennecke, T., Einfalt, D., ... & Rosenau, F. (2021). Bioconversion of lignocellulosic 'waste' to high-value food proteins: Recombinant production of bovine and human  $\alpha$ S1-casein based on wheat straw lignocellulose. *GCB Bioenergy*, 13 (4), 640–655. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12791> [in English].

Yeoh, J.W., Jayaraman, S.S.O., Tan, S.G.D., Jayaraman, P., Holowko, M.B., Zhang, J., ... & Poh, C.L. (2021). A model-driven approach towards rational microbial bioprocess optimization. *Biotechnology and Bioengineering*, 118 (1), 305–318. <https://doi.org/10.1002/bit.27571> [in English].

Zapata Montoya, J.E., Carranza Saavedra, D., & Sánchez Henao, C.P. (2021). Kinetic analysis and modeling of L-valine production in fermentation batch from *E. coli* using glucose, lactose and whey as carbon sources. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2021.e00642> [in English].

Отримано: 26.07.2024

Прийнято: 19.08.2024





УДК [581.526.425:582.622](477)  
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.3>

## ХАРАКТЕРИСТИКА ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ВІЛЬХОВИХ ЛІСІВ УКРАЇНИ

Л. М. Борсукевич<sup>1</sup>

Розвиток екосистемних послуг є інноваційним напрямом досліджень, що представляють собою комплексний підхід. Він поєднує інтереси в галузі економіки, екології та людського добробуту, які базуються на підходах сталого природокористування. Цей напрям з одного боку враховує корисні для людини функції та особливості екосистем, з іншого – вивчає можливості ощадливого користування ними. Тому цей підхід охоплює вивчення організації, структури екосистем, а також процесів і функцій, які прямо або опосередковано використовуються людиною. Проведена характеристика вільхових лісів України, виділено 3 типи біотопів, до яких вони належать згідно Національного каталогу України, а саме вільхові заболочені ліси, карпатські незаболочені ліси вільхи сірої і вільхи чорної та рівнинні незаболочені ліси вільхи чорної і ясена. Виявлено, що площа вільхових насаджень в Україні складає 275,8 тис. га, або 6% вкритих лісом території. Проведений аналіз та оцінка екосистемних послуг вільхових лісів України з урахуванням міжнародних підходів. На основі міжнародної класифікації екосистемних послуг Common international classification of ecosystem services (CICES) усі послуги поділені на три типи (ресурсний, регулювальний, науково-освітній). Класифікаційна схема послуг має ієрархічну структуру. Вона об'єднує 6 класів, 16 груп та 43 екосистемні послуги, що надає цей тип лісів (з наявних 98). Половина з них належить до регулювальних. Наведені характеристики внеску, які надають екосистемні послуги. На основі літературних джерел зібрана детальна інформація про сировинні особливості вільхових лісів, їх кліматорегулюючі, рекультивувальні, фітомеліоративні, рекреаційні і соціальні функції. Визначені основні загрози, що впливають на цей тип лісів.

**Ключові слова:** економічні послуги, економічна оцінка, класифікаційна схема, вільхові ліси, Україна.

## CHARACTERISTIC OF ECOSYSTEM SERVICES OF ALDER FORESTS IN UKRAINE

L. M. Borsukevych

*The development of ecosystem services is an innovative type of research that represents a comprehensive approach. It combines economic, ecological and public interests, based on sustainable nature*

<sup>1</sup> кандидат біологічних наук, провідний фахівець відділу природної трав'яної флори (Ботанічний сад Львівського національного університету імені Івана Франка, м. Львів); науковий співробітник відділу охорони природних екосистем (Інститут екології Карпат НАН України, м. Львів)  
e-mail: lborsukiewicz@gmail.com  
ORCID: 0000-0001-7316-0310

management. This concept, from one side, takes into account the functions and features of ecosystems that are useful for humans, and from the other, explores the possibilities of economical use of them. Therefore, this approach includes studies of the organization, structure and functions of ecosystems, that are directly or indirectly used by humans. Alder forests of Ukraine were characterized, and 3 types of biotopes were identified. According to the National Catalog of Ukraine they belong to the alder swamp forests, Carpathian gray alder and black alder non-swamp forests, and lowland black alder and ash forests. It was found that the area of alder forests in Ukraine comprise 275,8 thousand hectares, or 6% of forest areas in Ukraine. The analysis and assessment of ecosystem services of alder forests in Ukraine was carried out, based on international trends. On the basis of the international classification of ecosystem services Common international classification of ecosystem services (CICES), all services have been divided into three types (resource, regulatory, scientific and educational). The classification scheme of services has a hierarchical structure. It combines 6 classes, 16 groups and 43 ecosystem services provided by this type of vegetation (out of 98 available). Half of them belong to the regulatory group. The characteristic of the contribution provided by the ecosystem services is given. On the basis of literary sources, detailed information concerning the economic evaluation of wood products of the forest, its climate regulatory, phytoremedial, reclamation, recreational and social functions was analyzed. The main threats affecting this type of forest are identified.

**Key words:** ecological services, economic assessment, classification scheme, alder forests, Ukraine.

### Вступ

Ідея про те, що природні екосистеми важливі для добробуту людини, набула розвитку наприкінці 1990-х років. Метою її було надання економічного звучання традиційним проблемам охорони природи, екологічної безпеки та удосконалення економічних і фінансових важелів для їхнього регулювання в рамках ринкової економіки. Екосистемні послуги (ЕП) мають свою ціну, яку необхідно враховувати в плануванні господарської діяльності для забезпечення стійкого розвитку сучасного суспільства.

Термін «екосистемні послуги» набув популярності після того, у 2000 р. була проголошена програма «Оцінка екосистем тисячоліття» (Millennium Ecosystem Assessment). Класифікація ЕП, яка була підготовлена внаслідок виконання цієї програми, зараз є найбільш поширеною серед дослідників (МЕА, 2005; Дідух, 2018). Відповідно до цієї класифікації усі ЕП розділені на чотири типи: забезпечувальні (послуги від реалізації продукції, що є корисною для людини та має пряму монетарну оцінку); регулювальні (регулювання екосистемних процесів, які формують середовище існування видів та не мають прямої монетарної оцінки); підтримувальні (послуги, які підтримують основні екосистемні функції); культурні (забезпечення екосистемами різноманітних культурних аспектів людського буття) (МЕА, 2005).

Більш детально описує ЕП загальна міжнародна класифікація екосистемних послуг Common international classification of ecosystem services (CICES) (2018), започаткована у 2010 р. для забезпечення прозорості інформаційного обміну щодо послуг еко-

систем та їх інтегрування в системи обліку. У результаті її розробки були запропоновані стандартизовані визначення та типологія ЕП в ЄС, започатковано картографування та оцінку ЕП. Згідно неї ЕП поділяються на 3 типи відповідно до їхніх функцій: послуги постачання (надання ресурсних послуг, ціну яких можна порахувати в грошовому еквіваленті), послуги регулювання (усі екологічні процеси, що забезпечують функціонування екосистем), соціальні та культурні послуги (нематеріальні вигоди, отримані від спілкування людиною з природою) (CICES, 2018; Василюк та ін., 2023). Зазначені категорії поділено на 20 класів та 48 груп, що містять в собі 98 видів екологічних послуг. Класифікація дозволяє надавати іншим дослідникам додаткові послуги, що не були враховані в CICES, а отже, їх перелік не є вичерпним.

У 2023 році в Україні була розроблена класифікація CICES-UA. Вона базувалась на класифікації CICES, однак була деяким чином вдосконалена та адаптована до українських реалій. Особливістю її є обрахунок ЕП на основі оцінки природних оселищ (біотопів) (Дідух, 2018; Василюк та ін., 2023).

Встановлення економічної оцінки ЕП лісів необхідна для вибору оптимальних режимів раціонального природокористування: з одного боку отримання економічної вигоди від їх використання, а з іншого – їх збереження. Отримана інформація сприятиме розумінню, як вигоди від збереження лісових екосистем співвідносяться з наслідками від їх використання. Така оцінка допоможе розробити підходи та методи для оптимальних стратегій лісокористування (Соловій, 2016).

Згідно сучасних сценаріїв використання лісів, вигоди від їх ресурсного використання, які можна визначити в грошовому еквіваленті, зазвичай оцінені найкраще та знаходять найбільший відгук в суспільстві. Однак, цінність регулюючих послуг лісів зазвичай набагато вища за вартість деревини та інших ресурсів, отриманих від їх використання. Дослідження, що були проведені в країнах ЄС щодо оцінювання вартості ЕП, показали, що ліси є найбільшим за кількістю та масштабом постачальником ЕП (близько 48% від загальної вартості ЕП, що надають наземні та водні екосистеми) та забезпечують усі типи послуг. Згідно з отриманими даними, вартість ЕП, набутих в результаті використання 1 га лісу, може сягати 25 тис. доларів. Відповідно до цих обчислень, ЕП лісів України можна оцінити в 6 875 млрд грн (250 млрд. доларів). Найбільший відсоток загальної вартості лісів (від 65% до 90%) становлять функції регулювання клімату. Комерційна складова складає від 5 до 20%, решта припадає на екологічну та культурну цінність (від 2 до 7% кожна) (Ткач та ін., 2023).

#### Матеріал і методи

Дослідження проводили із застосуванням методів аналізу, синтезу та екстраполяції на основі інформації, отриманої з літературних джерел. Об'єкт дослідження – екосистемні послуги, які надають вільхові ліси України. Предмет дослідження – екосистемні функції вільхових лісів. Мета досліджень – базуючись на класифікації CICES розробити класифікаційну схему ЕП, які надають вільхові ліси, роблячи акцент на особливості притаманні саме цьому типу рослинності. Обрахунок ЕП базувався на основі оцінки різноманіття природних оселищ (біотопів) (Національний ..., 2018). Класифікаційна схема є ієрархічною і включає три типи (ресурсний, регулювальний, науково-освітній). Запропонована схема не охоплює всі існуючі показники і може доповнюватися з отриманням нових знань.

#### Результати та їх обговорення

Вільхові ліси поширені в Прибалтиці, у Білорусії та Україні, де переважно зосереджені у Західному та Східному Поліссі (понад 11% площі вкритих лісовою рослинністю). З них 70% поширені у двох областях – Волинській і Рівненській (Блищик, 2014). На Поліссі вільхові ліси вкривають 162,1 тис. га (58,8% від їх загальної площі). В цілому ж площа вільхових насаджень в Україні – 275,8 тис. га, або 6%

вкритих лісовою рослинністю територій. На Лісостепову, Степову зону та Карпати припадає близько 100 тис. га вільшняків, з них в Лівобережному Лісостепу займають площу 26613,3 га (Блищик, 2014; Бугайов і Пастернак, 2020).

Робочою групою MAES для оцінки ЕП запропонована типологія екосистем, що виділяє 12 типів рослинності на основі вищих рівнів класифікації оселищ EUNIS. В Україні запропоновано проводити таку оцінку на основі біотопів з Національного каталогу біотопів України (2018), в якому зібрано інформацію про всі біотопи України. Кожен з них надає лише окремі типи ЕП. Згідно Національного каталогу біотопів України вільхові ліси належать до 3 типів:

Д1.7.1 Евтрофні болота з ярусом вільхи чорної або берези.

Синтаксономія: *Alnetea glutinosae* Br.-Bl. et Tx. ex Westhoff et al. 1946, *Alnetalia glutinosae* Tx. 1937, *Alnion glutinosae* Malcuit 1929.

EUNIS: G1.4 Широколистяні ліси на некіислому торфі; G1.5 Широколистяні ліси на кіислому торфі»; Додаток I Оселищної Директиви: 91D0 Заболочені ліси.

До цього типу належать заболочені вільхові ліси. Домінуючою породою в них є вільха клейка, рідше береза, які здатні витримувати постійно високий рівень води та поширені на ділянках з застійним надмірним зволоженням у притерасних частинах заплави та по краях торфових боліт (торфовищ) або в природних депресіях і пониженнях на оглеєних опідзолених багатих торф'янистих ґрунтах, часто з добре вираженим мікрорельєфом. Цей тип найбільше поширений на Поліссі.

Д1.6.3 Карпатські незаболочені ліси вільхи сірої і вільхи чорної та Д1.6.4 Рівнинні незаболочені ліси вільхи чорної і ясеня.

Синтаксономія: *Alno glutinosae-Populetea albae* P. Fukarek et Fabijanić 1968, *Alno-Fraxinetalia excelsioris* Passarge 1968, *Alnion incanae* Pawłowski et al., 1928.

EUNIS: G1.121 Гірські сіровільхові ліси – галереї; G1.21 Заплавні періодично мокрі ліси з домінуванням *Alnus* або *Fraxinus*; Додаток I Оселищної Директиви: 91E0\* Заплавні ліси з *Alnus glutinosa* та *Fraxinus excelsior* (*Alno-Padion*, *Alnion incanae*, *Salicion albae*).

Це мішані сіро- та чорновільхові незаболочені ліси, багаті флористично, в яких наявний комплекс неморальних та альнетальних

елементів на оглеєних незаболочених суглинних ґрунтах, зазвичай без застійного зволоження. Цей тип лісів переважно поширений на Правобережжі України у Карпатах і Закарпатті, де займає площу близько 8 тис га. На рівнині ці ліси поширені спорадично в лісостеповій зоні та займають дуже малі площі. Вони мають виключно важливе водоохоронне та берегозахисне значення, особливо в Карпатах, чому сприяє висока порослева здатність вільхи, яка зберігається майже до стиглого віку (Борсукевич, 2022, 2023).

#### Тип. ПОСЛУГИ ПОСТАЧАННЯ (БІОТИЧНИЙ КОМПОНЕНТ)

##### Клас. Біомаса

Група. 1.1.1. Культивовані наземні рослини для харчування, матеріалів або енергії

1.1.1.1. Культивовані рослини, що використовуються для їжі

1.1.1.2. Волокна й інші матеріали з культивованих рослин, грибів, водоростей і бактерій для прямого використання або переробки (крім генетичних матеріалів)

1.1.1.3. Культивовані рослини що вирощуються як джерело енергії

Забезпечення. Здійснюється за рахунок екосистем, здатних створювати та нарощувати фітомасу (листя, гілки, стовбури).

Вигоди. Отримання продукції культурних рослин для їжі, отримання енергії або естетичних потреб.

Оцінка вартості. Вартість продукції культивованих рослин.

Додаткові відомості. Зазвичай площі, звільнені від вільхових лісів рідко використовуються для культурних насаджень. Вільха клейка доволі успішно відновлюється порослевим шляхом, тому більшість лісів, утворені нею, є природними. Культурні посадки вільхи зрідка створюють на нелісових землях, які формуються у складі прируслових смуг. Високий відсоток штучних вільшняків трапляється лише в Поліссі та на півночі Лісостепової зони. Інколи на перезволожених землях трапляються культури верби та тополі. Продуктивність штучних насаджень вільхи досить висока – до 500 м<sup>3</sup>/га у віці 60 років (Бугайов і Пастернак, 2020).

Група. 1.1.5. Дикі рослини (наземні та водні) для харчування, матеріалів або енергії

1.1.5.1. Дикі рослини, що використовуються для їжі

1.1.5.2. Волокна й інші матеріали з диких рослин, грибів, водоростей і бактерій для прямого використання або переробки (крім генетичних матеріалів)

1.1.5.3. Дикі рослини (наземні та водні) що вирощуються як джерело енергії

Забезпечення. Здійснюється за рахунок екосистем, здатних створювати та нарощувати фітомасу (листя, гілки, стовбури), здатності живих істот відновлювати чисельність у біотопах.

Вигоди. Отримання деревини для виготовлення будматеріалів, меблів, предметів побуту та використання її як палива. Отримання рослинної сировини (для споживання, лікувальної, декоративної галузі, для потреб промисловості) для власного використання та на продаж.

Оцінка вартості. Вартість проданих природних ресурсів або їх частин для виготовлення продукції та вартість їх від власного використання. Вартість ЕП розраховується в гривнях, за ціною продукту на ринку, отриманої на 1 га.

Додаткові відомості. Деревина вільхи клейкої використовується у меблевій промисловості, а саме для виготовлення шпону і фанери (в Україні 42% фанери одержують саме з вільхи). Як правило, ця деревина має меншу вартість в порівнянні з деревиною хвойних і твердолистяних порід, тому є більш доступна для населення в якості сировини для енергетичних потреб. Запаси вільхових насаджень становлять близько 49 млн. м<sup>3</sup>. Щорічно у вільшаниках України заготовляють 1,0–1,2 млн. м<sup>3</sup> деревини. Середні запаси стиглих модальних насаджень часто перевищують 300 м<sup>3</sup>/га (Бугайов і Пастернак, 2020).

Чиста первинна продукція (ЧПП) вільшняків Українського Полісся 1,36 Тг С·рік-1. Відношення ЧПП локалізованої в надземній фітомасі деревостану по відношенню до підземної, становить для вільхи 1,61. Середнє значення щільності ЧПП лісових ділянок вкритих лісовою рослинністю для вільхи становить 440 гС·м-2 рік-1 (для Українського Полісся). У структурі фітомаси вільшняків стовбури у корі становлять 70%. Енергопродуктивність порослевих лісів (I клас бонітету) зростає з віком і може сягати від 590 до 16000 ГДж·га-1 (Білоус, 2020).

Вільхові ліси є осередками, в яких можливий збір горіхів ліщини, плодів бузини, крушини, трави багна, листя кропиви, грибів, зокрема, опеньків. У корі, листі, супліддях вільхи містяться активні речовини (поліфенольні сполуки, полісахариди та ін.). Вони мають антиоксидантну, антимікробну, протизапальну дію та інші фармакологічні

властивості, які широко використовують у медицині (Ткач, 1999).

Група. 1.1.6. Дикі тварини (наземні та водні) для харчування, матеріалів або енергії

1.1.6.1. Дикі тварини що використовуються для їжі

1.1.6.2. Матеріали з продукти та сировина, що походять із дикої природи, які використовуються для безпосереднього використання або обробки (крім генетичних матеріалів)

1.1.6.3. Тваринні продукти та сировина, що походять із дикої природи, які використовуються як джерело енергії

Забезпечення. Здійснюється за рахунок збереження екосистем у природному стані; що забезпечують відновлення чисельності тварин у біогеоценозі.

Вигоди. Вилучені тварини для утримання вдома та для використання в мисливських господарствах і як джерело сировини.

Оцінка вартості. Вартість проданих тварин, або їх частин (шкіри, роги, пір'я) для їжі, виготовлення сувенірної продукції та вартість від продажу продуктів життєдіяльності (мед, збір мурах для лікування). Вартість отримана від експлуатації тварин та рекреаційних послуг (мисливство). Вартість ЕП розраховується у гривнях; враховується вартість ліцензій, виданих для 1 га території. Вартість ЕП розраховується в гривнях, на 1 га за ціною 1 м<sup>3</sup> біогазу або 1 кВт/годин енергоенергії.

Додаткові відомості. Найбільшу природоохоронну цінність становлять ліси, в яких трапляються корінні для цієї місцевості породи дерев і кущів. Наприклад, вільха чорна підтримує існування 141 видів комах і кліщів, на вільсі трапляється 116 видів лишайників. У вільхових лісах найчастіше трапляються лисиці, кабани, бобер європейський, енотоподібна собака та ондатра. Орнітофауна заплав представлена переважно видами, характерними для водно-болотних угідь. Однак, оскільки заплава є екологічним коридором, то з нею так чи інакше пов'язані майже всі види птахів під час сезонних міграцій (Борсукевич, 2022).

Клас. Генетичний матеріал з усієї біоти (включаючи насіння, спори або гамети)

Група 1. 2. 1. Генетичний матеріал рослин, водоростей або грибів

1.2.1.1. Насіння, спори й інші рослинні матеріали, зібрані для підтримки чи створення популяції

1.2.1.2. Вищі та нижчі рослини (цілі організми), що використовуються для виведення нових штамів або сортів

1.2.1.3. Індивідуальні гени, витягнуті з вищих і нижчих рослин для проектування та конструювання нових біологічних утворень

Забезпечення. Здійснюється за рахунок збереження генетичних ресурсів природних популяцій видів рослин та тварин, поширених в екосистемах, а також здійснення генетичного обміну між популяціями.

Вигоди. Збереження природних видів біоти, які є основним джерелом генетичних ресурсів. Можливість створення нових сортів, порід.

Оцінка вартості. Вартість отримана від продажу продукції, отриманої внаслідок використання покращеного посадкового матеріалу, а також вартість збереження біорізноманіття.

Додаткові відомості. Вільхові ліси насінневого походження більш довговічні, по відношенню до паросткових. Тому при проведенні рубок варто залишати кращі дерева насінневого походження для сприянню подальшому насінневному поновленню вільхи. В урожайні роки маса насіння становить декілька десятків кілограмів на гектар, а в окремі роки – перевищує 100 кг/га. Насіння вільхи клейкої в урожайні роки має високу схожість – 65–85%. Вирощування лісових культур з покращеного репродуктивного матеріалу дозволяє збільшити запас деревини на 15–20%. Отже, використання покращеного насіння, може дати додатково 32–43 м<sup>3</sup> деревини з 1 га (Ткач, 1999).

#### ТИП. РЕГУЛЮВАННЯ/ПІДТРИМАННЯ (БІОТИЧНИЙ КОМПОНЕНТ)

Клас. Перетворення біохімічних або фізичних надходжень в екосистемі

Група 2.1.1. Перетворення відходів або токсичних речовин антропогенного походження внаслідок діяльності екосистемі

2.1.1.1. Біологічна ремедіація за допомогою мікроорганізмів, водоростей, рослин і тварин

2.1.1.2. Фільтрація/поглинання/зберігання/накопичення екосистемами

Забезпечення. Природні властивості рослин очищувати повітря від забруднюючих та радіаційних речовин, нейтралізувати забруднюючі речовини в ґрунті, та акумулювати їх в органічну речовину.

Вигоди. Видалення відходів природними агентами без застосування технологій і потенційно шкідливих речовин. Зниження концентрації шкідливих речовин у повітрі, ґрунті та воді.

Оцінка вартості. Вартість послуг відновлених екосистем, які можуть використовуватись в різних цілях. Зниження трат через запобігання погіршення здоров'я населення, витрати на лікування, скорочення тривалості життя.

Додаткові відомості. В Україні важливий забруднюючий вплив мала аварія на Чорнобильській атомній електростанції, внаслідок якої забруднене навколишнє середовище на території понад 200 тис. км<sup>2</sup>, з них понад 1,2 млн га лісів. Виявлено інтенсивний перехід <sup>137</sup>Cs і незначну інтенсивність переходу <sup>90</sup>Sr з ґрунту в фітомасу деревини стовбурів *A. glutinosa*. Загальний вміст <sup>137</sup>Cs у деревині, корі і листі 60-річних деревостанів за умов С3–С4 сягає 190,1 МБк·га<sup>-1</sup> за щільності забруднення ґрунту 259 кБк·м<sup>-2</sup>. В аналогічних деревостанах загальне накопичення <sup>90</sup>Sr у фітомасі деревини і листя вільхи за щільності забруднення ґрунту в 10 кБк·м<sup>-2</sup> становить 1,3 МБк·га<sup>-1</sup>. Такі показники виключають можливість використання дерев для промисловості та для власних потреб. Заплавні ліси також мають високу здатність до виведення з ґрунту важких металів, в результаті чого концентрація їх в заплавах ґрунтах збільшується в 2–3 рази (Білоус, 2020).

Група 2. 1. 2. Посередництво в протидії перешкод антропогенного походження

2.1.2.1. Зменшення запаху від антропогенних джерел

2.1.2.2. Зменшення шуму від антропогенних джерел

2.1.2.3. Візуальний скринінг (екранування візуального впливу) від антропогенних джерел; візуальна зручність ландшафту.

Забезпечення. Природні властивості деревної рослинності утворювати суцільний масив, що екранує перенесення пилу та запаху повітрям, знижує шум, а також візуально екранує небажані топографічні елементи.

Вигоди. Пом'якшує шкідливий або стресовий вплив на людину перешкод антропогенного походження.

Оцінка вартості. Регулювання якості життя, що впливає на вартість житла, зниження вартості на подолання вимушених незручностей життя.

Додаткові відомості. У випадку вільхових лісів послуга не має значного внеску. Найбільший ефект простежується зі сторони водойм та річок, під час користування рекреаційними ЕП.

Клас. Регулювання фізичних, хімічних, біологічних умов

Група 2.2.1. Регулювання базових потоків та екстремальних подій. Захист від стихійних лих, пом'якшення несприятливих кліматичних умов

2.2.1.1. Протидія водній абразії берегів.

2.2.1.2. Буферність і ослаблення руху маси ерозійного матеріалу

2.2.1.3. Гідрологічний цикл і регулювання потоку води (включаючи контроль за поведінками та захист узбережжя

2.2.1.4. Захист від вітру

2.2.1.5. Захист від вогню

Забезпечення. Наявність мозаїки оселищ, зокрема зволжених екосистем, що є природними бар'єрами в регулюванні природних явищ.

Вигоди. Призводить до стабілізації кліматичних умов, створює більш сприятливі умови для проживання людей. Природний захист населених пунктів і сільгоспугідь від руйнівної дії різноманітних природних та штучно створених катастроф.

Оцінка вартості. Оцінку вартості руйнування природних та агроекосистем можна оцінити опосередковано через втрату побутових, промислових, продовольчих або сировинних ресурсів. Оцінка ЕП здійснюється через розрахунок втрат родючого шару ґрунту в м<sup>3</sup> на 1 га. Розраховується вартість протиаводкових та протиерозійних заходів, окремо для конкретної території басейну.

Додаткові відомості. За даними FAO, щороку в світі через ерозію втрачається майже 300–600 млн. тон ґрунту. В перерахунку на живильні речовини, збитки від ерозії оцінюються майже в 5 млрд. доларів. Щоб відновити ділянку площею 1 га, яка зазнала впливу деградаційних процесів, на меліоративні заходи необхідно затратити близько 175 тис. доларів. Заплавні ліси, зокрема, й вільхові, мають велике берегозахисне значення, через особливості кореневої системи, виконуючи хвилерізний вплив. В лісовій заплаві швидкість водного потоку падає в 10–25 разів, майже повністю знижуючи ризики ерозії (Ткач, 2023).

Вільхові ліси внаслідок поширення в вологих умовах зростання, зрідка пошкоджуються пожежами, але навіть незначна

низова пожежа спричиняє швидку втрату ними захисних властивостей. Також через розташування вільшняків незначний їх захист від вітру.

Група 2. 2. 2. Підтримка життєвого циклу, оселищ та захист генофонду

2.2.2.1. Запилення рослин

2.2.2.2. Розповсюдження насіння

2.2.2.3. Підтримка материнських популяцій і оселищ (включно зі збереженням генофонду)

Забезпечення. Збереження екосистем у природному стані. Формування стійких взаємин між представниками тваринного світу й рослинами, які відіграють роль запилювачів, та розповсюджувачів насіння.

Вигоди. Збільшення кількості та врожайності рослин, існування яких забезпечується даними процесами. Зменшення витрат на інші види запилення та розповсюдження рослин. Покращення стану екосистеми через використання якісного насіння.

Оцінка вартості. Обрахунок економічної вартості ЕП здійснюється у гривнях, вираховується ціна тонни продукції, отриманої на гектар (тонн/га). Вартість сировини або врожаю, вартість використання високобіотетних насінневих насаджень.

Додаткові відомості. Для вільхових лісів характерна наявність великої кількості вітрозапильних видів та великої кількості ранніх медоносів, що має чимале значення для диких запилювачів, які підвищують врожайність культур у 6 разів (Станкевич-Волосянчук, 2023). Оскільки вільхові деревостани насінневого походження довговічніші та продуктивніші, отримання сировини з них зростає на 15–20%. Важлива оцінка втрати видів Червоної книги України, розрахунок якої можливий через грошове відшкодування за пошкодження чи втрату популяцій видів, занесених до Червоної книги України, яких у вільшняках нараховується 8 видів (Борсукевич, 2023).

Група 2. 2. 3. Боротьба зі шкідниками та контроль хвороб

2.2.3.1. Контроль шкідників (включаючи інвазійні види)

2.2.3.2. Боротьба з захворюваннями

Забезпечення. Збереження екосистем у природному стані, яка підтримує достатню кількість ентомофагів та інших комахоїдних видів тварин.

Вигоди. Контроль зоонозних інфекцій. Природний захист від збудників хвороб. Отримання біологічно чистих продуктів рос-

линництва й лісового господарства. Бар'єри для поширення інвазивних видів.

Оцінка вартості. Вартість обмеження або й повна відсутність можливих збитків через неконтрольоване поширення інфекції.

Додаткові відомості. До складу деревини та кори вільхи входять дубильні речовини (у корі до 9% танідів). Вільха також належить до групи середньофітонцидних рослин, оскільки має здатність виділяти леткі речовини, що знищують шкідливі мікроорганізми і гриби, і є важливим джерелом іонізації повітря. Вільхові ліси, особливо старовікові є прихистком для летючих мишей та птахів, які харчуються комарами та іншими комахами. Заболочені вільхові ліси є певним бар'єром для поширення адвентивних видів рослин. Ступінь їх впливу на даному етапі визначити важко, але вони займають екологічні ніші, пригнічуючи та витискаючи місцеві види, і очікується їх посилений каскадний вплив на екосистемні послуги в майбутньому (Ткач, 1999).

Група 2.2.4. Регулювання якості ґрунту

2.2.4.1. Процеси вивітрювання й їх вплив на якість ґрунту

2.2.4.2. Процеси розкладання та фіксації й їх вплив на якість ґрунту. Транспортування води до ґрунтових горизонтів

2.2.4.3 (N/A) Симбіотичні послуги ґрунтових організмів

Забезпечення. Захисні лісові насадження, які завдяки своїй кореневій системі приймають участь в ґрунтових процесах.

Вигоди. Захист ґрунтів від висихання, вітрової та водної ерозії, підвищення родючості ґрунтів. Зменшення рослинністю сили та потужності поверхневого стоку, температури ґрунту, збільшення апасу ґрунтових вод. Отримання безкоштовного компосту.

Оцінка вартості. Вираховується через отримання додаткової продукції, вирощеної на цих ґрунтах та вартості екосистемних послуг, що надані в екологічно стабільних екосистемах. Вартість земельної ділянки вища при кращій якості ґрунту.

Додаткові відомості. Для вільхи величина альбедо підстильної поверхні, яка визначає температурний і радіаційний режим території становить 37%, тобто вільхові ліси відбивають променеву енергію значно інтенсивніше, ніж хвойні (на 12,0%), тому поверхня ґрунту у вільшаниках мало нагрівається. Вільха чорна, це поліпшувач ґрунту, що містить близько 3% азоту у листі, а на її корінні може утворюватися до 500 кг жовен

з розрахунку на 1 га насаджень. Ця особливість дозволяє їй упродовж вегетаційного періоду накопичувати понад 200 кг атмосферного азоту. Саме завдяки цим властивостям вільху належить до перспективних порід для заліснення техногенно порушених земель (Білоус, 2020).

Група 2.2.5 Регулювання якості води

2.2.5.1. Регулювання хімічного стану прісних водойм процесами життя

2.2.5.3. (N/A) Регулювання ґрунтових вод

Забезпечення. Регуляція колообігу вологи (регуляція локальних опадів, вологості повітря). Регуляція якості поверхневих вод та їх хімічного складу. Збереження та поповнення запасів ґрунтових вод.

Вигоди. Основною серед цих послуг є регуляція гідрологічного режиму місцевості, який позитивно впливає на накопичення води у наземних і підземних водосховищах, стабілізацію рівня води для запобігання повеней.

Оцінка вартості. Оцінити вартість регулювання поверхневого стоку можна через можливі втрати або компенсаційні заходи: через втрату та зниження врожаїв від зниження ґрунтових вод, погіршення якості питної води для споживання, попередженню витрат на здоров'я внаслідок погіршення стану водних ресурсів.

Додаткові відомості. Водорегулюючі послуги лісів є одними з найбільш розповсюджених ЕП, за які вноситься плата в грошовому еквіваленті. Відповідно до досліджень американських вчених, 1 долар, вкладений в збереження водних ресурсів, зберігає від 7,5 до 200 доларів США, котрі в іншому випадку були б витрачені на встановлення фільтрувальних установок і проведення очисних заходів (Соловій, 2016).

Заплавні ліси транспірують поглинуту воду, підвищуючи вологість повітря та покращуючи мікроклімат. У останні десятиліття в Україні спостерігається падіння рівня рівня ґрунтових вод на 2–2,5 м. Ґрунтові води у вільшняках залягають неглибоко. Виявлено, що збереження природного стану річкової заплави, з затопленням річковими водами підвищує рівень ґрунтових вод на 10–70 см і зберігає їх оптимальний стан протягом всього вегетаційного періоду (Станкевич-Волосянчук та ін., 2023).

Група 2.2.6 Регулювання складу атмосфери

2.2.6.1. Регулювання хімічного складу атмосфери й океанів

2.2.6.2. Регулювання температури та вологості, (включно з вентиляцією та транспірацією)

Забезпечення. Здійснюється завдяки здатності рослинних організмів до фотосинтезу, завдяки чому рослини зменшують концентрацію CO<sub>2</sub> в повітрі та поліпшують склад атмосферних газів.

Вигоди. Регуляція складу та якості повітря. Підтримання глобальних біохімічних циклів. Депопування сполук вуглецю у екосистемах (торф, деревина, ґрунт). Регуляція температури навколишнього середовища. Покращення складу атмосфери, що забезпечує комфортні умови для проживання людей.

Оцінка вартості. Вартість поліпшення умов проживання або відпочинку людей та зменшення витрат на лікування через погіршення здоров'я та скорочення тривалості життя. Оцінка вартості можливих збитків, що можуть бути нанесені людям у разі втрати природними екосистемами здатності надавати такі послуги. Грошова вартість цієї послуги також обраховується за вартістю квот парникових газів.

Додаткові відомості. У стовбурах та корі вільшаників накопичується від 5–6 т/га вуглецю у молодняках та понад 110 т/га у стиглих деревостанах. У фітомасі гілок вільшаників може бути депоновано вуглецю від 1,8 до 8 т/га. Запас депонованого вуглецю збільшується зі збільшенням середнього діаметра, висоти та відносної повноти деревостанів, тому найбільше діоксиду вуглецю щороку поглинають середньовікові ліси. Загалом у надземній фітомасі вільхових фітоценозів за рік накопичується від 10 до 120 т/га вуглецю. З них у фітомасі деревостану депонується 79% вуглецю, у мортмасі 19% та у нижніх ярусах 2%.

Загальна киснепродуктивність вільхові насаджень Українського Полісся складає 3,87 млн т/рік. Отже, всі вільшняки України продукують близько 6,5 млн т/рік кисню (Білоус, 2020).

ТИП. СОЦІАЛЬНІ Й КУЛЬТУРНІ ЕКОСИСТЕМНІ ПОСЛУГИ ТА ЇХ КОДИ

Клас. Безпосередня взаємодія із ситуацією та з живими системами, що залежить від присутності в середовищі. Проведення часу на природі, відпочинок, туризм

Група 3.1.1. Фізична взаємодія з природним середовищем

3.1.1.1. Характеристики живих систем, які забезпечують діяльність, сприяючи здо-



ров'ю, одужанню чи насолоді через активну взаємодію чи взаємодію з зануренням

3.1.1.2. *Характеристики живих систем, які забезпечують діяльність, сприяючи здоров'ю, одужанню чи насолоді через пасивну взаємодію чи споглядання*

Забезпечення. Оздоровлення та сенсорна інформація, яку люди отримують від спілкування з природою: привабливі краєвиди, чисте повітря, сприятливий мікроклімат, відсутність транспорту, забудови.

Вигоди. Отримання задоволення та оздоровчого ефекту від активного відпочинку та перебування на природі. Прибуток від туризму, оренди, перевезень, сувенірів.

Оцінка вартості. Оцінка позитивного впливу на здоров'я людини, на покращення її фізичного та психічного стану (включно зі зниженням чи відсутністю медичних витрат на лікування). Прибуток від надання конкретної послуги, чи товару. Вартість транспортування до відповідних природних територій і перебування.

Додаткові відомості. Найбільша взаємодія відбуватиметься при активних формах взаємодії, зокрема, сплаві на байдарках, відпочинку в прибережній зоні. Серед нових європейських тенденцій є створення екологічних стежок, зокрема, в об'єктах ПЗФ.

Прирічкові лісові масиви вважаються одними з найбільш придатних для рекреації. Площа рекреаційно-оздоровчих лісів України становить 1,6 млн га, вартість рекреаційної ролі (Ер) лісів – 19,4 тис. грн/га. Загалом рекреаційна вартість лісів України потенційно сягає близько 31 млрд. грн. Серед заплавних, до рекреаційно-оздоровчих лісів належить 77, 46 тис. га. З них на вільхові ліси припадає приблизно 60%, що становить 46 тис. га. Таким чином, рекреаційна ємність цієї категорії лісів становить приблизно 276000 осіб (Чеболда і Кузик, 2023).

Група 3.1.2. Інтелектуальна взаємодія з природним середовищем

3.1.2.1. *Характеристики живих систем, які дозволяють наукове дослідження або створення традиційних екологічних знань*

3.1.2.2. *Характеристики живих систем, які забезпечують освіту та навчання*

3.1.2.4. *Характеристики живих систем, що забезпечують естетичний досвід*

Забезпечення. Цікаві з наукової та освітньої точки зору природні ландшафти.

Вигоди. Можливість досліджувати природу, спостерігати за процесами, які в ній відбуваються (фільмування, фотографування, колекціонування). Забезпечення

освітніх процесів та естетичної насолоди. Отримання та накопичення нових наукових знань.

Оцінка вартості. Прибуток від впровадження наукових знань (зокрема для медичних потреб та сільського господарства). Оцінка освітнього ефекту та навчання не розроблена.

Додаткові відомості. В останні роки вивчення та популяризація знань про перезволожені об'єкти збільшується, в зв'язку з усвідомленням важливості екосистемних функцій цих лісів.

*Клас. Непряма, віддалена, часто внутрішня взаємодія з живими системами, які не потребують присутності в середовищі*

Група 3.2.1. Духовна, символічна та інші взаємодії з природним середовищем

3.2.1.1. *Елементи живих систем, що мають символічне значення. Соціальна згуртованість, патріотичні символи.*

3.2.1.2. *Елементи живих систем, що мають сакральний або релігійний зміст. Релігійні символи, святині, тотемні та священні тварини або дерева*

3.2.1.3. *Елементи живих систем, які використовуються для розваг*

Забезпечення. Створення сенсорної інформації, яку особи черпають від природи.

Вигоди. Процес самоідентифікації, формування ідентичності етнічних і соціальних груп, відчуття спорідненості людини з природними процесами, почуття наступності та історичності, духовності та душевної рівноваги.

Оцінка вартості. Вартість психічного/морального добробуту.

Додаткові відомості. Особливе значення цей тип лісів відіграє для жителів Полісся. З давніх часів заболочені ліси були джерелом для місцевого фольклору, створення легенд та казкових персонажів. Вільха – символ зміцнення родинних зв'язків, об'єднання сім'ї. Основна властивість дерева – об'єднувати родичів, створювати з окремих членів сім'ї Рід. Людина, яка виросла серед боліт та озер, буде некомфортно почуватись на відкритих просторах, поблизу великих водних поверхонь, оскільки втрачається відчуття безпеки та захищеності.

Отже, особливу увагу привертають такі екосистемні послуги вільхових лісів як гідрологічні (водоохоронні та водорегулюючі), ті, які виконують ґрунтозахисну, кліматологічну роль. Вільха є швидкорослим видом, активно виконує вуглецедепонувальну і киснепродукувальну, санітарно-гігієнічну

функцію тощо. Екологічні функції вільхових лісів зазвичай не враховують, роблячи оцінку запасів лісових ресурсів, проте, в порівнянні з ресурсними послугами, їхні регуляторні функції мають унікальне значення і є важливими для формування екологічної стабільності регіону. Найімовірніше, що при проведенні всебічної економічної оцінки вільхових лісів, виявиться, що їх екосистемні послуги мають набагато вищу цінність, ніж ресурсні. Незаконні рубки, відчуження лісових земель під забудову, фрагментація лісових масивів, будівництво рекреаційно-відпочинкових зон, незаконна заготівля недревної продукції, стихійне засмічення твердими відходами поверхні ґрунту, поширення інвазивних видів є найважливішими чинниками, що призводять до деградації вільхових лісів (Соломаха та ін., 2020).

### Висновки

Протягом останнього десятиріччя, питання визначення вартості екосистем, товарів та послуг, що вони надають, набуло особливого значення у сфері управління природокористуванням та охорони природного середовища. Оцінка екосистем сприяє

поглибленню розуміння зв'язків між екосистемою та людиною, створює комплексний екосистемний менеджмент. Неправильна оцінка екосистемних послуг лісів може в результаті привести до їх виснаження, або навіть втрати. Зазвичай, акцент на лісозаготівлі, з чітко вираженою економічною вартістю, приносить шкоду неоціненим екосистемним послугам лісів (Соловій, 2016). Тому, на сьогодні обґрунтована економічна оцінка екосистемних послуг, які надають вільхові ліси, є важливою складовою в формуванні національної екологічної політики та природоохоронного законодавства.

За результатами аналізу власних даних та літературних джерел, екосистемні функції та послуги, що надаються вільховими лісами, складаються з 43 різновидів, 16 груп, 6 класів та 3 типів, з них половина (22 послуги) належить до типу підтримання (регулювання) екосистем. Запропонована класифікаційна схема не охоплює всі існуючі послуги і має доповнюватися з отриманням нових знань. Результати роботи будуть сприяти прийняттю управлінських рішень щодо використання природних ресурсів цього типу лісів, їх охорони та відновлення.

### Список використаної літератури

- Білоус А.М. Екосистемні функції м'яколистяних лісів Українського Полісся. Монографія. Глобус, 2020. 150 с.
- Блищик І.В. Таксаційна структура та поширення деревостанів вільхи клейкої Українського Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014. Вип. 24.11. С. 32–37.
- Борсукевич А.М. Збереження та невиснажливе використання заплавних лісів України з урахуванням підходів оселищної концепції охорони природи. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2023. Вип. 33.3. С. 13–18. <https://doi.org/10.36930/40330302>.
- Борсукевич А.М., Панченко С.М., Орлов О.О., Кобець О.В., Гриник Є.О. Ліси навколо водойм: природоохоронна цінність та особливості менеджменту. WWF-Україна, 2022. 48 с.
- Бугайов С.М., Пастернак В.П. Вільхові ліси Лівобережного Лісостепу України: стан та продуктивність. Харків : ХНАУ, 2020. 180 с.
- Василіук 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. (Серія «Екосистемні послуги». Вип. 3). Чернівці : Друк Арт, 2023. 184 с.
- Дідух Я.П. Біотоп як система: структура, динаміка, екосистемні послуги. *Український ботанічний журнал*, 2018. Вип. 75 (5). С. 405–420. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj75.05.405>.
- Національний каталог біотопів України. За ред. А.А. Куземко, Я.П. Дідуха, В.А. Онищенко, Я. Шеффера. Київ : ФОП Клименко Ю.Я., 2018. 442 с.
- Соловій І. Оцінка послуг екосистем, забезпечуваних лісами України, та пропозиції щодо механізмів плати за послуги екосистем. (2016). [Електронний ресурс]. URL: [http://sfmu.org.ua/files/Soloviy\\_2016b.pdf](http://sfmu.org.ua/files/Soloviy_2016b.pdf) (дата звернення 16.07.2024).
- Соломаха І.В., Соломаха В.А., Тимочко І.Я., Чорнобров О.Ю. Еколого-економічні функції захисних лісових насаджень у наданні екосистемних послуг (методичні рекомендації). Під заг. ред. О.І. Фурдичко. Київ, 2020. 31 с.
- Станкевич-Волосянчук О., Тимченко І., Савченко С. Методичні рекомендації щодо оцінки вартості послуг екосистем. 2023. 46 с.

Ткач В.П., Висоцька Н.Ю., Торосов А.С., Букша І.Ф., Пастернак В.П., Лось С.А., Кобець О.В., Тарнопільська О.М., Тарнопільський П.Б., Калашніков А.О., Жежкун І.М., Коваль І.М., Сидоренко С.Г., Сидоренко С.В., Бондаренко В.В., Бондар О.Б. Економічна оцінка екосистемних послуг лісів України: Наукове видання. Харків : УкрНДІАГА, 2023. 28 с.

Ткач В.П. Заплавні ліси України. Харків : Право, 1999. 368 с.

Чеболда І.Ю., Кузик І.Р. Оцінка нематеріальних екосистемних послуг лісів Тернопільської області. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2023. Вип. 28. С. 91–100. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-28-08>.

Common international classification of ecosystem services (CICES, Version 5.1). [Електронний ресурс]. URL: <https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf> (дата звернення 15.07.2024).

Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being (MEA). [Електронний ресурс]. URL: <http://www.maweb.org/documents/document.791.aspx.pdf/> (дата звернення 15.07.2024).

## References

Bilous, A.M. (2020). Ekosystemni funktsii miakolystianykh lisiv Ukrainskoho Polissia [Ecosystem functions of soft-leaved forests of Ukrainian Polissia]. *Globus*, 150 p. [in Ukrainian].

Blyshchuk, I.V. (2014). Taksatsiina struktura ta poshyrennia derevostaniv vilkhy kleikoi Ukrainskoho Polissia [Biometric structure and distribution of Black Alder stands in Ukrainian Polissya]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of UNFU]*, 24 (11), 32–37 [in Ukrainian].

Borsukevych, L.M. (2023). Zberezhennia ta nevyznazhlyve vykorystannia zaplavnykh lisiv Ukrainy z urakhuvanniam pidkhodiv oselyshchnoi kontseptsii okhorony pryrody [Protection and sustainable use of floodplain forests of Ukraine by using the habitat concept of nature conservation]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of UNFU]*, 33 (3), 13–18. <https://doi.org/10.36930/40330302> [in Ukrainian].

Borsukevych, L.M., Panchenko, S.M., Orlov, O.O., Kobets, O.V., & Hrynyk, E.O. (2022). Lisy navkolo vodoim: pryrodookhoronna tsinnist ta osoblyvosti menedzhmentu [Forests around water reservoirs: conservation value and management features]. WWF-Ukraine, 48 p. [in Ukrainian].

Bugayov, S.M., & Pasternak, V.P. (2015). Vilkhovi lisy Livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy: stan ta produktyvnist [Growth models of alder coppice stands of Left-bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of UNFU]*, 25 (2), 37–42 [in Ukrainian].

Vasyliuk, O., Varukha, A., Kuzemko, A., Moysiyenko, I., Kolomitsev H., Spriahailo, O., Lavrinenko, K., Sirenko, I., Chusova, O., Sadogurska, S., & Bezsmertna, O. (2023). Ekosystemnyi dobrobut: metodyka obrakhunku ekosystemnykh posluh nepriamymy metodamy [Ecosystem well-being: a method of calculating ecosystem services using indirect methods]. Chernivtsi : Druk Art. *Seriia "Ekosystemni posluhy" [Series "Ecosystem Services"]*, 3, 184 p. [in Ukrainian].

Didukh, Ya.P. (2018). Biotop yak systema: struktura, dynamika, ekosystemni posluhy [Biotope as a system: structure, dynamics, ecosystem services]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal [Ukrainian botanical journal]*, 75 (5), 405–420. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj75.05.405> [in Ukrainian].

Kuzemko, A., Didukh, Ya., Onyshchenko, V., & Sheffer, Ya. (Ed.) (2018). Natsionalnyi kataloh biotopiv Ukrainy [National habitat catalogue of Ukraine]. Kyiv : FOP Klymenko, 442 p. [in Ukrainian].

Soloviy, I. (2016). Otsinka posluh ekosystem, zabezpechuvanykh lisamy Ukrainy, ta propozytsii shchodo mekhanizmiv platy za posluhy ekosystem [Evaluation of forest ecosystem services provided by forests of Ukraine and proposals on PES mechanisms]. [Electronic resource]. URL: [http://sfmu.org.ua/files/Soloviy\\_2016b.pdf](http://sfmu.org.ua/files/Soloviy_2016b.pdf) (access date 16.07.2024) [in Ukrainian].

Solomakha, I.V., Solomakha, V.A., Tymochko, I.Ya., & Chornobrov, O.Yu. (2020). Ekoloho-ekonomichni funktsii zakhysnykh lisovykh nasadzhen u nadanni ekosystemnykh posluh (metodychni rekomendatsii) [Ecological and economic functions of protective forest plantations in the provision of ecosystem services (methodological recommendations)]. Kyiv, 31 p. [in Ukrainian].

Stankevych-Volosyanchuk, O., Tymchenko, I., & Savchenko, S. (2023). Metodychni rekomendatsii shchodo otsinky vartosti posluh ekosystem [Methodological recommendations for estimating the value of ecosystem services]. 46 p. [in Ukrainian].

Tkach, V.P., Vysotska, N.Yu., Torosov, A. S., Buksha, I.F., Pasternak, V.P., Los, S.A., Kobets, O.V., Tarnopilska, O.M., Tarnopilskyi, P.B., Kalashnikov, A.O., Zhezhkun, I.M., Koval, I.M., Sydorenko, S.H., Sydorenko, S.V., Bondarenko, V.V. & Bondar, O.B. (2023). Ekonomichna otsinka ekosystemnykh posluh lisiv Ukrainy: Naukove vydannia [Economic evaluation of ecosystem services

of Ukrainian forests: Scientific publication]. Kharkiv : URIFFM, 28 p. [in Ukrainian].

Tkach, V.P. (1999). Zaplavni lisy Ukrainy [Floodplain forests of Ukraine]. Kharkiv : Pravo, 368 p. [in Ukrainian].

Chebolda, I.Y., & Kuzyk, I.R. (2023). Otsinka nematerialnykh ekosystemnykh posluh lisiv Ternopilskoi oblasti [Assessment of intangible ecosystem services of the Ternopil region forests]. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, 28, 91–100. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-28-08> [in Ukrainian].

Common international classification of ecosystem services (CICES, Version 5.1). [Electronic resource]. URL: <https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf> (access date 15.07.2024) [in English].

Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being (MEA). [Electronic resource]. URL: <http://www.maweb.org/documents/document.791.aspx.pdf> (access date 15.07.2024) [in English].

Отримано: 29.07.2024

Прийнято: 28.08.2024



УДК 581.5:635.9

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.4>

## ОНТОГЕНЕТИЧНА ТА ВІТАЛІТЕТНА СТРУКТУРИ ЦЕНОПОПУЛЯЦІЙ ВИДІВ РОДУ *LAMIUM* L. В УМОВАХ М. ВІННИЦЯ

О. В. Машталер<sup>1</sup>, А. О. Мікуліч<sup>2</sup>, Ю. Б. Скляр<sup>3</sup>

В озелененні міст важливим є створення стійких фітоценозів з використанням видів, які пристосовуючись до складних умов міського середовища, не втрачають своєї декоративності, і при цьому догляд за ними є економічно вигідним. У статті досліджені особливості онтогенетичної та віталітетної структури ценопопуляцій *Lamium purpureum* L. та *Lamium maculatum* (L.) L. на територіях з різним ступенем антропогенного навантаження в умовах міського середовища.

Для визначення онтогенетичної та віталітетної структур нами було обрано шість контрольних ділянок площею 1 м<sup>2</sup>, які знаходяться в межах Замостянського району м. Вінниця. Інтегральна оцінка стану ценопопуляцій представлена з використанням онтогенетичних індексів за І.М. Коваленко.

Для інтегральної оцінки ценопопуляцій обраних видів застосували показники щільності ценопопуляцій, їх параметри, онтогенетичні спектри, індекси генеративності, відновлення та старіння. Для з'ясування онтогенетичної структури ценопопуляцій, в межах ділянок, підраховували кількість рослин різних онтогенетичних станів та подано їх коротку характеристику. У складі досліджуваних популяцій *L. purpureum* L. та *L. maculatum* (L.) L. виявлено особини шести вікових станів: проростки (р), ювенільні рослини (j), іматурні (ім), віргінільні (v) та генеративні (g1, g2). Спостерігаючи за ценопопуляціями *L. purpureum* L. та *L. maculatum* L. (L.) нами не зареєстровані старі генеративні особини (g3); субсенільні особини (ss); сенільні особини (s).

За результатами досліджень онтогенетичної та віталітетної структур ценопопуляцій *L. purpureum* L. та *L. maculatum* (L.) L., ми встановили, що всі популяції є нормальними неповночленними через відсутність старих генеративних, субсенільних та сенільних особин. Вікові спектри всіх досліджуваних ценопопуляцій є лівосторонніми з переважанням іматурного, передгенеративного та ювенільного станів. Індекси відновлення ценопопуляцій дуже високі, а індекси

<sup>1</sup> кандидат біологічних наук, доцент,  
в.о. завідувача кафедри ботаніки та екології  
(Донецький національний університет імені Василя Стуса, м. Вінниця)  
e-mail: o.mashtaler@donnu.edu.ua  
ORCID: 0000-0003-1896-824X

<sup>2</sup> старший викладач кафедри ботаніки та екології  
(Донецький національний університет імені Василя Стуса, м. Вінниця)  
e-mail: l.mikuluch@donnu.edu.ua  
ORCID: 0000-0002-7925-0736

<sup>3</sup> студент кафедри ботаніки та екології  
(Донецький національний університет імені Василя Стуса, м. Вінниця)  
e-mail: yu.skliar@donnu.edu.ua  
ORCID:0009-0004-0193-4144

генеративності та старіння – низькі. Проаналізована віталітетна структура ценопопуляцій *L. purpureum* L. та *L. maculatum* (L.) L. із врахуванням групи морфометричних параметрів особин, таких як висота особини, довжина суцвіття та довжина віночка. На основі цих ознак, розподіляли особини ценопопуляції за трьома класами віталітету: вищий клас – «а», середній клас – «б» і нижчий клас – «с». За віталітетною структурою всі ценопопуляції відповідають врівноваженому та процвітаючому типам.

**Ключові слова:** віковий спектр, онтогенетичні індекси, онтогенетична та віталітетна структура, ценопопуляція.

## ONTOGENETIC AND VITALITY STRUCTURES OF CENOPOPULATIONS OF *LAMIUM* L. SPECIES IN THE CONDITIONS OF VINNYTSIA

O. V. Mashtaler, L. O. Mikulich, Yu. B. Sklyar

*In urban gardening, it is important to create sustainable phytocenoses using species that, adapting to the complex conditions of the urban environment, do not lose their decorativeness, and at the same time care for them is economically viable. The article represents the features of the ontogenetic and vitality structure of cenopopulations of *Lamium purpureum* L. and *Lamium maculatum* (L.) L. in territories with different degrees of anthropogenic load in urban environments.*

*To determine the ontogenetic and vitality structure, we selected six control plots with an area of 1 m<sup>2</sup>, which are located within the Zamostyanska district of Vinnytsia. An integral assessment of the state of cenopopulations is presented using ontogenetic indices by I.M. Kovalenko.*

*For the integral assessment of cenopopulations of selected species, the indicators of the density of cenopopulations, their parameters, ontogenetic spectra, indices of generativity, recovery and aging were used.*

*The characteristics of the species main ontogenetic states have been given. Individuals of six age states have been identified: seedlings (p), juvenile plants (j), immature (im), virginal (v), young generative (g1), mature generative (g2). Observing the cenopopulations of *L. purpureum* L. and *L. maculatum* L. (L.), we did not register old generative individuals (g3); subsenile individuals (ss); senile individuals (s).*

*According to the results of studies of the ontogenetic and vitality structures of *L. purpureum* L. and *L. maculatum* (L.) L. cenopopulations, we found that all cenopopulations are normal incomplete due to the absence of old generative, subsenile and senile individuals. The age spectra of all studied cenopopulations are left-sided with a predominance of immature, pre-generative and juvenile states.*

*All studied cenopopulations have a high recovery index. Innovation indices of all cenopopulations are very high, and generative, senilis are low. Based on the signs of the vitality structure, only two types of cenopopulations were found – balanced and prosperous. Vitality structure of *L. purpureum* L. and *L. maculatum* (L.) L. cenopopulations was analyzed, taking into account a group of individual morphometric parameters, such as individual height, inflorescence length, and corolla length. According to the vitality structure, all cenopopulations are balanced and prosperous types.*

**Key words:** age spectrum, ontogenetic indices, ontogenetic and vitality structures, cenopopulation.

### Вступ

Катастрофічні кліматичні зміни, стрімке скорочення запасів прісної води, деградація ґрунтів, накопичення великої кількості відходів, міграція населення України через війну та збільшення кількості міського населення все більше стають причинами для переосмислення темпів природокористування та збереження ресурсів. Для міських екосистем актуальним є розширення асортименту видів рослин, що можуть бути використані для зовнішнього озеленення.

Одним із варіантів вирішення цього питання є формування декоративних міських зелених насаджень із застосуванням бур'янисто-рудеральних видів природної флори, що здатні пристосовуватися

до складних умов існування, характеризуються швидким ростом та значним розселенням (Сурган, 2020). Одними із таких видів рослин є *Lamium purpureum* L. та *Lamium maculatum* (L.) L., які відрізняються декоративним забарвленням суцвіть та верхівкових листків, а також невимогливістю до умов зростання. Ці рослини можуть бути придатні для оформлення альпінаріїв, рокаріїв, бордюрних насаджень та міських лук.

Головною відмінністю двох видів рослин роду *Lamium* L. є особливості забарвлення листових пластинок та їх декоративність: *L. purpureum* L. мають рожеве забарвлення верхівкових листків, а *L. maculatum* (L.) L. на своїх листових пластинках має плями

білого, срібного кольору (Барбарич та ін., 1965; Mosyakin, 1999).

Тому при створенні штучних фітоценозів важливо використовувати дикорослі види місцевої флори, які мають комплекс структурно-фізіологічних пристосувань до стресових умов міського середовища та у певні фази розвитку можуть виконувати естетичну функцію і догляд за ними не потребуватиме великих фінансових затрат. Аналіз вікової та онтогенетичної структур ценопопуляцій дає можливість визначити їх пристосованість і стійкість до стресових умов середовища, а також оцінити життєвий стан на основі морфометричних ознак особин (Коваленко, 2013; Зубцова, 2020; Кравчук, 2020; Шпак, 2020; Бойчук, 2021).

Отже, актуальним є дослідження онтогенетичної та віталітетної структур *L. purpureum* L. та *L. maculatum* (L.) L. на територіях з різним ступенем антропогенного навантаження в умовах міського середовища. Саме це стало основною метою дослідження.

#### Матеріал і методи

Для визначення онтогенетичної та віталітетної структур нами було обрано шість контрольних ділянок площею 1 м<sup>2</sup>, які знаходяться в межах Замостянського району м. Вінниця. Для популяцій *L. purpureum*: узбіччя дороги вздовж вул. Академіка Янгеля (№ 1); приватний сектор по вул. Київський (№ 2), зона парку на вул. Батозька (№ 3). Для популяцій *L. maculatum*: перехрестя вул. Батозької та вул. Академіка Янгеля (№ 1); перехрестя вул. Академіка Янгеля та вул. Київська (№ 2); міський пляж «Хімік» (№ 3).

Віталітетну структуру визначали за методикою Ю.А. Злобіна із врахуванням групи морфометричних параметрів особин (Скляр і Злобін, 2013; Злобін, 2018). Для оцінки віталітету досліджуваних видів та їх популяцій використовували три ознаки: висота особини, довжина суцвіття, довжина віночка. На основі цих ознак розподіляли особини популяцій за трьома класами віталітету: вищий клас – «а», середній клас – «b» і нижчий клас – «с». Відповідно до показника індексу якості кожній популяції надавався статус процвітаючої, врівноваженої або депресивної (Злобін, 2009; Кияк, 2015). Величину індексу якості розраховували за загальноприйнятими методиками (Пеньковська, 2019; Зубцова, 2022).

Для інтегральної оцінки онтогенетичної структури ценопопуляцій *Lamium* L. було

використано онтогенетичні індекси, запропоновані І.М. Коваленко: індекс генеративності, індекс відновлення, індекс старіння (Коваленко, 2005).

Для з'ясування онтогенетичної структури ценопопуляцій, в межах ділянок, підраховували кількість рослин різних онтогенетичних станів. За результатами власних досліджень та літературних даних визначали належність особин *L. purpureum* L. та *L. maculatum* (L.) L. до тієї чи іншої онтогенетичної категорії (Коровякова і Тихонова, 2013). За отриманими результатами визначали їх належність до певної категорії спектрів: лівосторонній характеризується переважанням догенеративних рослин; центрований – високою часткою генеративних особин і властивий багаторічникам із простим онтогенезом; правосторонній – відзначається високою часткою в популяції сеньільних рослин; бімодальний – має два піки, зазвичай у передгенеративній і сеньільній частинах спектру (Крічфалушій 1994).

Статистичну обробку даних проводили за стандартними методиками з використанням програми Microsoft Excel 2016.

#### Результати та їх обговорення

При вивченні онтогенетичної структури ценопопуляцій *L. purpureum* та *L. maculatum* використовували критерії, встановлені Коровяковою Т.О. та Тихоною О.М. (Коровякова і Тихонова, 2013), а також за власними польовими спостереженнями у складі досліджуваних популяцій *L. purpureum* та *L. maculatum* виявили шість онтогенетичних станів: проростки (р), ювенільні рослини (j), іматурні (im), віргінільні (v) та генеративні (g1), (g2) (рис. 1, 2).



Рис. 1. Онтогенетичні стани *L. purpureum* L.



Рис. 2. Онтогенетичні стани *L. maculatum* L. (L)

**Проростки (p).** Проростання насіння надземне. Проросток має два верхніх листка з довгим черешком серцевидної форми та пильчастим краєм. Трапляються екземпляри, які ростуть окремо та ті, які виростили на материнській рослині поблизу прикореневої розетки. Коренева система у самостійних рослин стрижнева.

**Ювенільні рослини (j).** У рослини з'являється вже чотири ювенільні листки з довгими черешками серцевидно-трикутної форми та пильчастим краєм. Коренева система стрижнева.

**Іматурні рослини (im).** У особин даного онтогенетичного стану розетка складається з 4–6 листків з довгими черешками сер-

цевидно-трикутної форми та пильчастим краєм. Коренева система стрижнева.

**У віргінільних рослин (v)** видовжений пагін висотою 6–10 см. Прикореневі листки, довгочерешкові округло-яйцевидні з пильчастим краєм. Листки з середньої та верхньої частини пагона короткочерешкові серцевидно-трикутно-яйцевидні. Коренева система стрижнева.

**Молоді генеративні рослини (g1)** на верхівці пагона в пазухах листків формуються сидячі квіти. Коренева система стрижнева.

**Середньовікові генеративні рослини (g2).** Продовжується ріст пагона і формування суцвіття. Розпочинаються процеси плодоношення. Коренева система стрижнева.

Спостерігаючи за ценопопуляціями *L. purpureum* L. та *L. maculatum* L. (L) у продовж трьох вегетаційних сезонів нами було виявлено відсутність наступних онтогенетичних станів: старі генеративні особини (g3); субсенільні особини (ss); сенільні особини (s). Ми вважаємо, що остання стадія генеративного періоду та постгенеративного періоду відсутні в ценопопуляціях цих рослин у міському середовищі через сезонні скошування.

Для інтегральної оцінки обраних ценопопуляцій застосували показники щільності популяцій, їх параметри, онтогенетичні спектри, індекси генеративності, відновлення та старіння (табл. 1, 2).

За результатами спостережень найбільшу щільність має ценопопуляція *L. purpureum* на ділянці 1 (54 особини/м<sup>2</sup>), а найменшу

Таблиця 1

Оцінка стану популяцій *L. purpureum* на досліджуваних ділянках

Показники популяцій	Ділянка 1	Ділянка 2	Ділянка 3
	узбіччя дороги вздовж вул. Академіка Янгеля	біля приватного сектору по вул. Київський	зона парку на вул. Батозька
Щільність популяції, особини/м <sup>2</sup>	54	35	43
Параметри популяції	нормальна, неповночленна	нормальна, неповночленна	нормальна, неповночленна
Онтогенетичний спектр	лівосторонній з переважанням передгенеративних особин	лівосторонній з переважанням іматурних особин	лівосторонній з переважанням ювенільних особин
Індекс генеративності, %	26,7	36,4	24,5
Індекс відновлення, %	73,3	73,6	75,5
Індекс старіння, %	0	0	0



Таблиця 2

Оцінка стану популяцій *L. maculatum* L. (L). на досліджуваних ділянках

Показники популяцій	Ділянка 1	Ділянка 2	Ділянка 3
	перехрестя вул. Батозької та вул. академіка Янгеля (район великоповерхівок)	перехрестя вул. академіка Янгеля та вул. Київська	Зона парку «Хімік»
Щільність популяції, особини/м <sup>2</sup>	35	47	55
Параметри популяції	нормальна, неповночленна	нормальна, неповночленна	нормальна, неповночленна
Онтогенетичний спектр	лівосторонній з переважанням іматурних особин	лівосторонній з переважанням ювенільних особин	лівосторонній з переважанням ювенільних особин
Індекс генеративності, %	21,4	17,2	28,1
Індекс відновлення, %	78,6	82,8	71,9
Індекс старіння, %	0	0	0

щільність – на ділянці 2 (35 особин/м<sup>2</sup>). Популяції на всіх трьох ділянках є нормальними, але неповночленними, оскільки відсутні старі генеративні, сенільні, субсенільні особини. Онтогенетичні спектри досліджених популяцій мають такі категорії: лівостороння з переважанням передгенеративних особин (ділянка 1); лівостороння з переважанням іматурних особин (ділянка 2); лівостороння з переважанням ювенільних особин (ділянка 3). Індекс генеративності коливається в межах 24,5%–36,4%, індекс відновлення – 73,3%–75,5%, індекс старіння для популяцій на всіх трьох ділянках становить 0.

Щільність ценопопуляції *L. maculatum* L. (L). коливається в межах 35–55 особини/м<sup>2</sup> на трьох ділянках. Тобто ценопопуляції є нормальними, неповночленними (відсутні старі генеративні, сенільні, субсенільні особини) з лівостороннім переважанням іматурних та ювенільних особин. Індекс генеративності коливається в межах 17,2%–28,1%,

індекс відновлення – 71,9%–82,8%, індекс старіння – 0.

Спираючись на запропонований Ю.А. Злобіним (Коваленко, 2013; Злобін, 2018) алгоритм об'єктивного виділення ознак нами було обрано три морфометричні параметри рослин роду *Lamium* L., врахувавши рівень варіації ознаки та її біологічне значення: висота рослини, довжина суцвіття та довжина віночка (табл. 3).

Аналізуючи дані можна побачити, що найбільші морфометричні параметри мали рослини *L. purpureum* L. на ділянці 3. Для рослин *L. maculatum* (L.) L. найбільшу висоту та довжину віночка мали особини на ділянці 2, а найбільшу довжину суцвіття – на ділянці 1.

Морфометричні параметри було використано для оцінки віталітетної структури ценопопуляцій (табл. 4, 5).

За результатами спостережень та розрахунків індексу якості, ценопопуляції *L. purpureum* L. та *L. maculatum* L. (L). відпо-

Таблиця 3

Морфометричні параметри рослин *L. purpureum* L. та *L. maculatum* (L.) L.

Параметри M±m	№ ділянки					
	1	2	3	1	2	3
	<i>Lamium purpureum</i> L.			<i>Lamium maculatum</i> (L.) L.		
Висота особини, мм	180 ± 0,6	233,8 ± 2,8	243,3 ± 1,5	351,6 ± 0,3	361,4 ± 2,5	350,7 ± 1,6
Довжина суцвіття, мм	28 ± 1,7	36,3 ± 0,6	45,8 ± 0,4	127,5 ± 0,7	123,6 ± 1,5	119,5 ± 1,4
Довжина віночка, мм	11,3 ± 0,5	12,5 ± 0,7	14,6 ± 0,7	28 ± 0,9	30 ± 0,5	29,3 ± 1,3

Таблиця 4

Віталітетна структура ценопопуляцій *L. purpureum* L.

Параметри	№ ділянки	Частка особин за класами віталітету			Індекс якості, Q	Віталітетний тип
		а	в	с		
Висота особин	Ділянка 1	0,4	0,23	0,37	0,32	врівноважений
	Ділянка 2	0,3	0,3	0,4	0,30	врівноважений
	Ділянка 3	0,26	0,46	0,28	0,36	процвітаючий
Довжина суцвіття	Ділянка 1	0,3	0,36	0,34	0,33	врівноважений
	Ділянка 2	0,33	0,3	0,37	0,32	врівноважений
	Ділянка 3	0,33	0,33	0,34	0,33	врівноважений
Довжина віночка	Ділянка 1	0,33	0,33	0,34	0,33	врівноважений
	Ділянка 2	0,33	0,26	0,41	0,30	врівноважений
	Ділянка 3	0,33	0,3	0,37	0,32	врівноважений

Таблиця 5

Віталітетна структура ценопопуляцій *L. maculatum* L. (L).

Параметри	№ ділянки	Частка особин за класами віталітету			Індекс якості, Q	Віталітетний тип
		а	в	с		
Висота особин	Ділянка 1	0,36	0,3	0,34	0,33	врівноважений
	Ділянка 2	0,26	0,4	0,34	0,33	врівноважений
	Ділянка 3	0,26	0,43	0,31	0,35	процвітаючий
Довжина суцвіття	Ділянка 1	0,33	0,33	0,34	0,33	врівноважений
	Ділянка 2	0,30	0,33	0,37	0,32	врівноважений
	Ділянка 3	0,33	0,30	0,37	0,32	врівноважений
Довжина віночка	Ділянка 1	0,3	0,3	0,26	0,28	врівноважений
	Ділянка 2	0,26	0,36	0,40	0,33	врівноважений
	Ділянка 3	0,44	0,34	0,34	0,33	врівноважений

відають врівноваженому типу за довжиною суцвіття та віночка на трьох ділянках. За висотою особин на ділянці 3, тип ценопопуляцій – процвітаючий, на відміну від 1 та 2 ділянок.

#### Висновки

За результатами досліджень онтогенетичної та віталітетної структур популяцій *L. purpureum* L. та *L. maculatum* (L.) L., ми встановили, що всі ценопопуляції є нормальними

неповночленними через відсутність старих генеративних, субсенільних та сенільних особин. Онтогенетичні спектри ценопопуляцій є лівосторонніми з переважанням іма-турних, передгенеративних та ювенільних особин. Всі досліджені ценопопуляції мають високий індекс відновлення. За ознаками віталітетної структури виявлено ценопопуляції лише двох типів – врівноважені та процвітаючі.

#### Список використаної літератури

- Бойчук С.В., Буджак В.В. Онтогенетична та віталітетна структури популяцій *Muscari botryoides* (L.) Mill. (*Asparagaceae* Juss.) на північно-східній межі ареалу. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2021. 17 (2). С. 107–118. <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2021-17-2-2>.
- Визначник рослин України: навчальний посібник. 2-ге видання / Барбарич А. І, та ін. Київ: Урожай, 1965. 877 с.
- Злобін Ю. А. Популяційна екологія рослин: сучасний стан, точки росту. Суми: Університетська книга, 2009. 263 с.
- Злобін Ю.А. Алгоритм оцінки віталітету особин рослин і віталітетної структури фітопопуляцій. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2018. № 14 (3). С. 213–226. <https://doi.org/10.14255/2308-9628/18.143/2>
- Зубцова І.В. Онтогенетична та віталітетна структура *Arctium lappa* L. на заплавах луках Кролевецько-Глухівського геоботанічного району. *PLANTA+. Досягнення та перспективи*. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченій пам'яті доктора хіміч-

них наук, професора Ніни Павлівни Максютіної (до 95-річчя від дня народження). (Київ, 20–21 лютого 2020). Київ, 2020. С. 300–302.

Зубцова І.В. Віталітетна структура популяції *Centaureum erythraea* Rafn. в умовах регіонального ландшафтного парку «Сеймський». *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія Біологія*, 2022. Т. 82. С. 2–13. <https://doi.org/10.25128/2078-2357.22.4.1>.

Кияк В. Вікова й онтогенетична структура популяції у рослин – необхідність диференціації. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2015. Вип. 70. С. 162–172.

Коваленко І.М. Структура популяцій домінантів трав'яно-чагарничкового ярусу в лісових фітоценозах Деснянсько-Старогутського національного природного парку. Онтогенетична структура. *Український ботанічний журнал*. 2005. Т. 62. № 3. С. 707–714.

Коваленко О.А. Морфологічна мінливість і віталітетна структура ценопопуляцій *Fritillaria ruthenica* Wikstr. (Лілієйні) у НПП «Пирятинський» (Полтавська обл.). *Український ботанічний журнал*. 2013. Том 70. № 3. С. 369–379.

Коровякова Т.О., Тихонова О.М. Ценопопуляції інвазійного виду *Stenactis (Phalacrologa) annua* (L.) Cass. на заплавах луках річки Псел (Сумська область). *Чорноморський ботанічний журнал*. 2013. Т. 9. № 4. С. 515–526.

Кравчук А.В. Віталітетна структура ценопопуляцій *Hypericum perforatum* L. в умовах Шосткинського геоботанічного району Сумської області (Україна). The 1 st International scientific and practical conference «Priority directions of science and technology development», (September 27–29, 2020). Kyiv: SPC «Sci-conf.com.ua», 2020. С. 102–106.

Крічфалушій В.В., Мезев-Крічфалушій Г.М. Популяційна біологія рослин: навчально-методичний посібник для студентів біологічних спеціальностей вузів. Ужгород: Ужгород. ун-т, 1994. 80 с.

Пеньковська А. Аналіз онтогенетичної структури ценопопуляцій *Thymus serpyllum* L. Emend. Mill. та *Thymus x polessicus* Klokov (*Lamiaceae*) в умовах Ямпільського району Сумської області (Україна). *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія: Біологічні науки*. 2019. 3 (387). С. 38–44. <https://doi.org/10.29038/2617-4723-2019-387-38-44>.

Скляр В.Г., Злобін Ю.А. Внутрішньопопуляційна структура та методика її вивчення у деревних лісоутворюючих видів. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2013. № 9 (3). С. 316–329.

Сурган О.В. Місце квіткових рослин в урбанізованих екосистемах. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Дослідження лісових та урбанізованих екосистем для забезпечення сталого розвитку», Київ, 22 вересня 2020 р. К: НУБІП, 2020. С. 112–113.

Шпак Н.П. Аналіз віталітетної і вікової структури місцезростань береки лікарської (*Sorbus torminalis* (L.) Crantz) у лісах НПП «Кармелюкове Поділля» Південно-Подільського Лісостепу України. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2020. № 2(29). Т. 1. С. 96–100. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.2-29.1.15>.

Mosyakin S.M., Fedoronchuk M. M. Vascular plants of Ukraine a nomenclatural checklist. Kiev: M.G. Kholodny Institute of Botany, 1999. 346 p.

## References

Bojchuk, S.V., & Budzhak, V.V. (2021). Ontogenetychna ta vitalitetna struktury populjacij *Muscari botryoides* (L.) Mill. (*Asparagaceae* Juss.) na pivnichno-skhidnij mezhi arealu [Ontogenetic and vitality structure of *Muscari botryoides* (L.) Mill. (*Asparagaceae* Juss.) populations at the northeastern limit of its nature area]. *Chornomors'kij botanichnyj zhurnal [Chornomorski Botanical Journal]*, 17 (2), 107–118. <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2021-17-2-2> [in Ukrainian].

Vyznachnyk roslyn Ukrainy: navchal'nyj posibnyk. 2-ghe vyd. (1965) [Identifier of plants of Ukraine: study guide] / Barbarych, ta in. Kyiv: Urozhaj [in Ukrainian].

Zlobin, Ju.A. (2009). Populjacijna ekolohija Roslyn: suchasnyj stan, tochky rostu. [Population ecology of plants: current state, growth points]. Sumy : Universytets'ka knygha [in Ukrainian].

Zlobin, Ju.A. (2018). Alghorytm ocinky vitalitetu osobyn roslyn i vitalitetnoji struktury fitopopuljacij. [An algorithm for assessing the vitality of plant individuals and the vitality structure of phytopopulations]. *Chornomors'kij botanichnyj zhurnal [Chornomorski Botanical Journal]*, № 14 (3), 213–226. <https://doi.org/10.14255/2308-9628/18.143/2> [in Ukrainian].

Zubcova, I.V. (2020). Ontogenetychna ta vitalitetna struktura *Arctium lappa* L. na zaplavnykh lukakh Krolev'ec'ko-Ghluhivskogho gheobotanichnogho rajonu [Ontogenetic and vitality struc-

ture of *Arctium lappa* L. in the floodplain meadows of the Krolevets-Glukhiv geobotanical district]. *PLANTA+. Dosjaghnennja ta perspektyvy: materialy Mizhnarodnoji naukovopraktychnoji konferenciji, prysujachenoji pam'jati doktora khimichnykh nauk, profesora Niny Pavlivny Maksjutinoji, (do 95-richchja vid dnja narodzhennja) (Kyjiv, 20-21 ljutogho 2020 r) [«PLANTA+. Achievements and prospects» The proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the memory of Doctor of Chemistry, Professor Nina Pavlovna Maksyutina (on her 95th birthday)]. Kyiv, pp. 300–302 [in Ukrainian].*

Zubcova, I.V. (2022). Vitalitetna struktura populacij *Centaureum erythraea* Rafn. v umovax rehionalnoho landshaftnoho parku «Sejmskyj» [Structure population of *Centaureum erythraea* Rafn. in conditions of regional landscape park «Seimskyi»]. *Naukovi zapysky Ternopil's'koho nacionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatjuka. Serija Biologhija [Scientific Notes of Ternopil Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk. Series Biology]*, T. 82, 2–13. <https://doi.org/10.25128/2078-2357.22.4.1> [in Ukrainian].

Kyjak, V. (2015). Vikova i ontoghenetychna struktura populjaciji u roslyn – neobkhdnistj dyferenciaciji [Age and ontogenetic structure of plant population – necessity to distinguish between them]. *Visnyk Ljvivskogho universytetu. Serija biologhichna [Visnyk of the Lviv University. Series Biology]*, 70, 162–172 [in Ukrainian].

Kovalenko, I.M. (2005). Struktura populacij dominantiv travjano-chaharnychkovoho jarusu v lisovyh fitocenozah Desnjans'ko-Starohuts'koho nacionalnoho pryrodnoho parku. Ontoghenetychna struktura [The structure of populations, which dominant in ground layer of woody phytocoenosis at national natural park Desnyansko-Starogutsky. Ontogenetic structure]. *Ukrajinskyj botanichnyj zhurnal [Ukrainian botanical journal]*, T. 62, № 3, 707–714 [in Ukrainian].

Kovalenko, O.A. (2013). Morfologhichna minlivistj i vitalitetna struktura cenopuljacij *Fritillaria ruthenica* Wikstr. (Lilijejni) u NPP «Pyrjatyns'kyj» (Poltavs'ka obl.) [Morphologic variation and vitality structure of *Fritillaria ruthenica* Wikstr. (Liliaceae) coenotic populations in the National nature park «Pyrjatynsky» (Poltava region)]. *Ukrajinskyj botanichnyj zhurnal [Ukrainian botanical journal]*, Vol. 70, № 3, 369–379 [in Ukrainian].

Korovjakova, T.O., & Tyhonova, O.M. (2013). Cenopuljaciji invazijnogo vydu *Stenactis (Phalacrolooma) annua* (L). Cass. na zaplavnyx lukax richky Psel (Sumska oblast) [Cenopopulations of invasive species *Stenactis (Phalacrolooma) annua* (L). Cass. on floodplain meadows of the river Psel (Sumy region)]. *Chornomors'kyj botanichnyj zhurnal [Chornomorski Botanical Journal]*, Vol. 9, № 4, 515–526 [in Ukrainian].

Kravchuk, L.V. (2020). Vitalitetna struktura cenopuljacij *Hypericum perforatum* L. v umovakh Shostkyns'kogho gheobotanichnogho rajonu Sums'koho oblasti (Ukrajina) [Vitality structure of coenopopulations of *Hypericum perforatum* L. in the conditions of Shostka geobotanical district of Sumy region (Ukraine)]. *The 1st International scientific and practical conference «Priority directions of science and technology development»*, (September 27-29, 2020). Kyiv: SPC «Sci-conf.com.ua», pp. 102–106 [in Ukrainian].

Krichfalushij, V.V., & Mezev-Krichfalushij, Gh.M. (1994). Populacijna biologhija roslyn: navchaljno-metodychnyj posibnyk dlja studentiv biologhichnykh specialnostej vuziv [Population biology of plants: manuel for higher school students of biology]. Uzhghorod : Uzhghorod : un-t [in Ukrainian].

Penjkovs'ka, L. (2019). Analiz ontoghenetychnoji struktury cenopuljacij *Thymus serpyllum* L. Emend. Mill. ta *Thymus x polessicus* Klokov (*Lamiaceae*) v umovakh Jampiljs'kogho rajonu Sums'koho oblasti (Ukrajina) [Analysis of Ontogenetic Structure of *Thymus Serpyllum* L. Emend. Mill. and *Thymus x Polessicus* Klokov (*Lamiaceae*) cenopopulations under the conditions of the Ympil District, Sumy Region (Ukraine)]. *Naukovyj visnyk Shkhidnojevropejs'kogho nacionalnogho universytetu imeni Lesi Ukrajinky. Serija: Biologhichni nauky [Lesia Ukrainka Eastern European National University Scientific Bulletin Series: Biological Sciences]*, 3 (387), 38–44. <https://doi.org/10.29038/2617-4723-2019-387-38-44> [in Ukrainian].

Skliar, V.Gh., & Zlobin, Ju.A. (2013). Vnutrishnjopopulacijna struktura ta metodyka jiji vyvchennja u derevnykh lisoutvorjujuchykh vydiv [Intrapopulation structure and its studying technique of woody-formbuilding tree species]. *Chornomors'kyj botanichnyj zhurnal [Chornomorski Botanical Journal]*, 9 (3), 316–329 [in Ukrainian].

Surghan, O.V. (2020). Misce kvitkovykh roslyn v urbanizovanykh ekosystemakh [The place of flowering plants in urbanized ecosystems]. *Materialy Mizhnarodnoji naukovopraktychnoji konferenciji «Doslidzhennja lisovykh ta urbanizovanykh ekosystem dlja zabezpechennja stalogho rozvytku» [Materials of the International scientific and practical conference “Research of forest and urban eco-*

systems to ensure sustainable development”], Kyiv, 22 veresnja 2020. K: NUBIP, pp. 112–113 [in Ukrainian].

Shpak, N.P. (2020). Analiz vitalitetnoji i vikovoji struktury miscezrostanj Bereky likarsjkoji (*Sorbus torminalis* (L.) Crantz) u lisakh NPP «Karmeljukove Podillja» Pivdenno-Podiljsjkogho Lisostepu Ukrajinjy [The vitality and age structure analysis of habitat of spesies (*Sorbus torminalis* (L.) Crantz) in the forests of the NNP «Karmeliukove Podillia» of the south podilskyforest-steppe of Ukraine.]. *Ekologhichni nauky: naukovo-praktychnyj zhurnal [Ecological Sciences scientific and practical journal]*, 2 (29). Vol. 1, 96–100. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.2-29.1.15> [in Ukrainian].

Mosyakin, S.M., & Fedoronchuk, M.M. (1999). Vascular plants of Ukraine a nomenclatural checklist. M.G. Kholodny Institute of Botany [in English].

Отримано: 28.07.2024

Прийнято: 01.08.2024



УДК 581.1+631.8:633.3

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.5>

## ДИНАМІКА ВМІСТУ ФОТОСИНТЕТИЧНИХ ПІГМЕНТІВ У ЛИСТКАХ *CICER ARIETINUM* L. ЗА ВПЛИВУ БАКТЕРІАЛЬНИХ ПРЕПАРАТІВ

С. В. Пида<sup>1</sup>, І. В. Чернік<sup>2</sup>, О. В. Тригуба<sup>3</sup>

Фотосинтез є основою продуктивності сільськогосподарських культур, тому дослідження структури фотосинтетичного апарату, факторів впливу на його формування та функціонування є важливими для вирішення проблеми підвищення їх продукційного процесу. Метою роботи було визначити вплив *Mesorhizobium ciceri* штаму ND-64 та комплексного мікробного препарату Ризогумін на динаміку вмісту фотосинтетичних пігментів у листках *Cicer arietinum* L. сортів Скарб та Ярина у ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу України.

Дослідження проводили на важко-суглинстому чорноземі типовому агробіологічної лабораторії Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка у трьох варіантах та чотирьох повтореннях. Насіння нуту звичайного контрольного варіанту перед сівбою зволожували водою з водогону з розрахунку 2% від маси, а дослідних – рідкими формами бактеріальної суспензії селекціонованого штаму *Mesorhizobium ciceri* ND-64 (БС) та Ризогуміну згідно норм виробника. Вміст хлорофілів *a*, *b* і каротиноїдів у свіжозібраних листках рослин визначали методом екстрагування диметилсульфооксидом за Вельбурном. Коефіцієнти екстинкції отриманих розчинів вимірювали на спектрофотометрі UIT SFU-0172 за довжини хвиль:  $\lambda = 649, 665, 480$ .

Встановлено, що застосування мікробних препаратів у технології вирощування нуту звичайного впливало на накопичення фотосинтетичних пігментів у листках. Інокуляція насіння *M. ciceri* ND-64 статистично вірогідно збільшувала упродовж генеративних фаз росту і розвитку рослин у листках вміст хлорофілу *a*. Застосування Ризогуміну суттєво підвищувало кількість хлорофілу *a* в листках сорту Скарб. Накопичення пластидних пігментів у листках також залежало від фази онтогенезу та сортових особливостей рослин. Найвищий вміст хлорофілів визначено

<sup>1</sup> доктор сільськогосподарських наук, професор,  
завідувач кафедри ботаніки та зоології  
(Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, м. Тернопіль)  
e-mail: [spyda@ukr.net](mailto:spyda@ukr.net)

ORCID: 0000-0002-7858-104X

<sup>2</sup> аспірант

(Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, м. Тернопіль)  
e-mail: [igor77cheri@gmail.com](mailto:igor77cheri@gmail.com)

ORCID: 0009-0002-4966-0475

<sup>3</sup> кандидат сільськогосподарських наук, доцент,  
доцент кафедри біології, екології та методик їх навчання

(Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка, м. Кременець)  
e-mail: [boratun1@ukr.net](mailto:boratun1@ukr.net)

ORCID: 0000-0002-7264-7714

в листках рослин у фазі зеленого бобу у всіх варіантах досліджу. Мікробні препарати суттєво не впливали на накопичення основних каротиноїдів у листках нуту звичайного обох сортів, статистично вірогідно збільшували показники співвідношення між кількістю хлорофілів а і b, суми хлорофілів а і b до кількості основних каротиноїдів.

Застосування мікробних препаратів на основі *M. ciceri* є перспективним елементом технології нуту звичайного, що підвищує уміст фотосинтетичних пігментів у листках і опосередковано впливає на його продуктивність.

**Ключові слова:** *Cicer arietinum* L., хлорофіли, каротиноїди, бактеріальна суспензія, Ризогумін.

## DYNAMICS OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS CONTENT IN LEAVES OF *CICER ARIETINUM* L. UNDER THE INFLUENCE OF BACTERIAL PREPARATIONS

S. V. Pyda, I. V. Chernik, O. V. Tryhuba

Photosynthesis is the basis of crop productivity, so the study of the structure of the photosynthetic apparatus and of factors influencing its formation and functioning are important for solving the problem of increasing their productive process. The aim of the study was to determine the effect of *Mesorhizobium ciceri* strain ND-64 and the complex microbial preparation *Rhizogumin* on the dynamics of photosynthetic pigments content in leaves of *Cicer arietinum* L. varieties Skarb and Yaryna under soil and climatic conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine.

The study has been conducted on a heavy loamy chernozem of the typical agrobiological laboratory of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University in three variants and four replications. Chickpea seeds of the regular control variant have been moistened with water from the tap at a rate of 2 % by weight before sowing, and the experimental seeds have been moistened with liquid forms of bacterial suspension of the selected strain of *Mesorhizobium ciceri* ND-64 (BS) and *Rhizogumin* according to the manufacturer's standards. The content of chlorophylls a, b and carotenoids in freshly harvested plant leaves has been determined by the Welbourne method of dimethyl sulfoxide extraction. The extinction coefficients of the obtained solutions have been measured on a UIT SFU-0172 spectrophotometer at wavelengths:  $\lambda = 649, 665, 480$ .

It has been found that the use of microbial preparations in the technology of growing chickpea has affected the accumulation of photosynthetic pigments in the leaves. Inoculation of seeds with *M. ciceri* ND-64 statistically have significantly increased the content of chlorophyll a. in the leaves during the generative phases of plant growth and development. The use of *Rhizogumin* have significantly increased the amount of chlorophyll a in the leaves of Skarb variety. The accumulation of plastid pigments in the leaves also have depended on the phase of ontogenesis and varietal characteristics of plants. The highest content of chlorophylls has been determined in the leaves of plants in the green bean phase in all experimental variants. The microbial preparations have not significantly affected the accumulation of basic carotenoids in the leaves of chickpea of both varieties, have statistically significantly increased the ratio between the amount of chlorophylls a and b, the sum of chlorophylls a and b to the amount of basic carotenoids.

The use of microbial preparations based on *M. ciceri* is a promising element of chickpea technology, which increases the content of photosynthetic pigments in the leaves and indirectly affects its productivity.

**Key words:** *Cicer arietinum* L., chlorophylls, carotenoids, bacterial suspension, *Rhizogumin*.

### Вступ

Фотосинтез є основним процесом формування продуктивності сільськогосподарських культур, зокрема і нуту звичайного (*Cicer arietinum* L.). На його ефективність впливають технологічні заходи вирощування, біотичні та абіотичні фактори впродовж періоду розвитку рослин.

Усі зелені органи рослин поглинають енергію сонячних променів, але найбільше листові пластинки (Сухова, 2012). Сумарний фотосинтез через листки сягає 60–95%. У *Cicer arietinum* L. частиною

листіків є вусики, які також приймають участь в фотосинтезі, утримують рослину в вертикальному положенні, що у свою чергу покращує фотосинтетичний процес (Щигорцова, 2009; Побережна та ін., 2024).

Зміна клімату має багатогранний вплив на ріст і фізіологію бобових, зокрема водний режим. *Cicer arietinum* L. є однією із перспективних жаро- та посухостійких культур, переносить спеку та повітряну посуху (Січкара та ін., 2000; Січкара, 2019; Мельник та ін., 2020). Посівні площі під нутом в Україні з кожним роком зростають

і становлять близько 100 тис. га, культура представлена сортами вітчизняної та зарубіжної селекції (Воропай та ін., 2024). На зовнішньому ринку спостерігається висока вартість зерна, що допоможе нуту стати перспективним щодо реалізації продукції (Степасюк, 2023; Воропай та ін., 2024).

Потенціал продуктивності культури суттєво залежить від підбору елементів технології вирощування, зокрема мікробіологічних препаратів, що сприяють поліпшенню живлення культури (Rozhkov et al., 2022) та як наслідок підвищення урожайності екологічно чистої продукції. Очікується, що ринок біодобрив розширюватиметься із сукупним річним темпом зростання 12,1 % до 2027 року (Mordor Exploration, 2022). Застосування мікробіологічних препаратів у технології вирощування вважається перспективним заходом для підвищення продуктивності бобових культур екологічно чистим способом (Gorai et al., 2021; Parihar et al., 2022). Завдяки досягненням біотехнології людство стає свідком широкомасштабного застосування мікроорганізмів у сільськогосподарському секторі (Pandey et al., 2023).

Нут звичайний потребує детально розроблених та апробованих у різних ґрунтово-кліматичних зонах технологій вирощування (Воропай, 2024). Сьогодні вплив мікробних препаратів на продуктивність *Cicer arietinum* L., зокрема фотосинтетичну активність в умовах Західного Лісостепу України вивчений недостатньо, тому це питання заслуговує уваги. Метою роботи було визначити вплив *Mesorhizobium ciceri* штаму ND-64 та комплексного мікробного препарату Ризогумін на динаміку вмісту фотосинтетичних пігментів у листках нуту звичайного у ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу України.

#### Матеріал і методи

Матеріалом дослідження слугували нут звичайний сортів Скарб та Ярина. Скарб – посухостійкий, крупнонасінений, високоврожайний, середньостиглий (тривалість вегетаційного періоду 88–93 діб) сорт. Рекомендований для Степу та Лісостепу, відноситься до середземноморського підвиду (subsp. mediterraneum. G. Pop.), тип Kabuli, різновидність іспанко-флавесценс, субрізновидність пірокарпум (*hispanico-flavescens* subvar. *pirocarpum* G. Pop.) (Каталог ..., 2023). Ярина – перший у світі сорт нуту, який за своїми характеристиками знаходиться між Desi і Kabuli типами. Сорт харак-

теризується крупним насінням коричневого кольору, високою посухостійкістю, високоврожайний, середньо-ранньостиглий, тривалість вегетаційного періоду – 82–85 діб (Мазур та ін., 2022). Насіння нуту звичайного отримали із Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насінництва та сортовивчення (м. Одеса).

Дослідження проводили упродовж 2021–2023 років на важко-суглинистому чорноземі типовому агробіологічної лабораторії Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка (ТНПУ) у трьох варіантах та чотирьох повтореннях. Насіння нуту звичайного контрольного варіанту (К) перед сівбою зволожували водою з водогону з розрахунку 2% від маси, а дослідних – рідкими формами бактеріальної суспензії селекціонованого штаму *Mesorhizobium ciceri* ND-64 (БС) та Ризогуміну згідно норм виробника. Мікробні препарати отримали з Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН України (м. Чернігів).

Технологія вирощування культури нуту звичайного була типовою для Лісостепу України (норма висіву – 400 тис. насінин на 1 га, ширина міжрядь 45 см, глибина сівби – 3–4 см, строк сівби – друга половина квітня).

Упродовж вегетації визначали вміст хлорофілів *a*, *b* і каротиноїдів у свіжозібраних листках нуту звичайного безмацераційним методом їх екстагування диметилсульфоксидом за Вельбурном і обчислювали в міліграмах на 1 г (мг/г) сирової речовини (Wellburn, 1994). Коефіцієнти екстинкції отриманих розчинів вимірювали на спектрофотометрі UIT SFU-0172 за довжини хвиль:  $\lambda = 649, 665, 480$ . Концентрацію хлорофілів *a* і *b* та основних каротиноїдів обраховували за наступними формулами:

$$\text{Chl } a = 12.19 \times D_{665} - 3.45 \times D_{649}, [\text{мг/мл}]$$

$$\text{Chl } b = 21.99 \times D_{649} - 5.32 \times D_{665}, [\text{мг/мл}]$$

$$\text{Car} = (1000D_{480} - 2.14 \times \text{Chl } a - 70.16 \times \text{Chl } b) / 220, [\text{мг/мл}]$$

Обробка статистичних даних здійснювалась за допомогою комп'ютерної програми Microsoft Excel.

#### Результати

Встановлено, що застосування мікробних препаратів у технології вирощування нуту звичайного впливало на накопичення фотосинтетичних пігментів у листках упродовж генеративних фаз розвитку рослин. У фазу цвітіння нуту звичайного сорту Скарб за



впливу мікробних препаратів уміст хлорофілу *a* та сума хлорофілів *a* і *b* у листках статистично вірогідно підвищились на 18,6% та 15,9% (БС), 15,2 (Ризогумін) % (табл. 1).

Спостерігається тенденція до підвищення (на 2,5%) умісту основних каротиноїдів за передпосівної інокуляції насіння мікробними препаратами. Під кінець цвітіння на початку утворення бобів виявлено аналогічну закономірність стосовно накопичення хлорофілу *a* й основних каротиноїдів у мезофілі листків. Їх уміст за впливу БС та Ризогуміну збільшився на 6,1% та 6,9% й 16,7% та 3,3% відповідно. У цій фазі у листках нуту звичайного за впливу бактеріальних препаратів уміст хлорофілу *b* підвищився на 7,1% (БС) та 10,7% (Ризогумін). У фазі зеленого бобу визначено статистично вірогідне зростання у листках умісту хлорофілу *a* на 8,9% за інокуляції *M. ciceri* ND-64. Варто зазначити, що у ґрунті дослідних полів агробіолабораторії ТНПУ наявні місцеві популяції бульбочкових бактерій нуту, які спонтанно інокулювали корені рослин контрольного варіанту, а відтак поліпшували азотне живлення рослин контрольного варіанту і сприяли накопиченню пігментів у їх листках. На початку досягання бобів статистично вірогідно у листках рослин сорту Скарб дослідних варіантів підвищується уміст хлорофілу *a* на 10,6% (БС) і 11,3% (Ризогумін) та знижується уміст каротиноїдів на 11,4%. Найвищий уміст зелених піг-

ментів упродовж генеративних фаз росту і розвитку визначено у фазі зеленого бобу у всіх варіантах досліду.

Інокуляція насіння сорту Ярина *M. ciceri* ND-64 статистично вірогідно збільшувала упродовж генеративних фаз росту і розвитку рослин вміст хлорофілу *a* на 7,8% (цвітіння), 8,6% (кінець цвітіння-початок утворення бобів), 15,2% (зелений біб) та 9,8% (початок досягання бобів) (табл. 2). За передпосівної обробки насіння нуту звичайного сорту Ярина комплексним мікробіологічним препаратом Ризогумін спостерігається тенденція щодо підвищення вмісту хлорофілів *a* і *b*, відповідно їх суми та зменшення кількості основних каротиноїдів.

Уміст пластидних пігментів у мезофілі листків також залежить від сортових особливостей рослин. Листки нуту звичайного сорту Скарб характеризуються вищою кількістю суми хлорофілів порівняно з аналогічними показниками сорту Ярина (див. табл. 1, 2). Під час цвітіння нуту звичайного сорту Ярина листки накопичували в 1,62 (К), 1,58 (БС) та 1,46 (Ризогумін) рази більше основних каротиноїдів порівняно з листками сорту Скарб в аналогічній фазі росту і розвитку рослин.

Розрахунки показали, що за передпосівної обробки насіння нуту звичайного мікробними препаратами у більшості фаз росту і розвитку рослин статистично вірогідно зростає співвідношення між кількі-

Таблиця 1

Вміст пігментів (мг/г сирової маси) у листках нуту звичайного сорту Скарб за впливу мікробних препаратів,  $M \pm m$

Варіант	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіли ( <i>a</i> + <i>b</i> )	Каротиноїди
<b>Фаза цвітіння</b>				
К	1,13±0,011	0,25±0,013	1,38	0,40±0,036
БС	1,34±0,044*	0,26±0,026	1,60	0,41±0,024
Ризогумін	1,34±0,037*	0,25±0,019	1,59	0,41±0,023
<b>Фаза кінець цвітіння-початок утворення бобів</b>				
К	1,15±0,021	0,28±0,004	1,43	0,30±0,017
БС	1,22±0,016*	0,30±0,006	1,52	0,35±0,018*
Ризогумін	1,23±0,017*	0,31±0,012	1,54	0,31±0,016
<b>Фаза зеленого бобу</b>				
Контроль	1,79±0,121	0,41±0,023	2,20	0,42±0,026
БС	1,95±0,128*	0,36±0,015	2,31	0,43±0,021
Ризогумін	1,79±0,131	0,42±0,041	2,21	0,41±0,024
<b>Фаза початок досягання бобів</b>				
К	1,41±0,062	0,32±0,021	1,73	0,35±0,021
БС	1,56±0,015*	0,35±0,017	1,91	0,31±0,017
Ризогумін	1,57±0,102*	0,36±0,004	1,93	0,31±0,019

Примітка. \*відмінності порівняно з контролем достовірні при  $P \leq 0,05$ ,  $n = 4$

стю хлорофілів *a* і *b* за рахунок підвищення вмісту хлорофілу *a* (табл. 3).

За впливу БС та Ризогуміну у листках обох сортів нуту звичайного інтенсивніше синтезується хлорофіл *a*, порівняно з хлорофілом *b*. Упродовж досліджуваного періоду зростають показники співвідношення суми хлорофілів *a* і *b* до кількості основних каро-

тиноїдів. За впливу мікробних препаратів визначено статистично вірогідне зростання співвідношення суми хлорофілів *a* і *b* до кількості основних каротиноїдів у фазах цвітіння та початку достигання бобів у нуту звичайного сорту Скарб. Зазначені вище показники у сорту Ярина істотно відрізнялися порівняно з К за впливу Ризогуміну

Таблиця 2

Вміст пігментів (мг/г сирової маси) у листках нуту звичайного сорту Ярина за впливу мікробних препаратів,  $M \pm m$

Варіант	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіли ( <i>a</i> + <i>b</i> )	Каротиноїди
Фаза цвітіння				
К	1,41±0,045	0,31±0,005	1,72	0,65±0,022
БС	1,52±0,033*	0,34±0,020	1,86	0,65±0,024
Ризогумін	1,46±0,118	0,32±0,025	1,78	0,60±0,023
Фаза кінець цвітіння-початок утворення бобів				
К	1,28±0,044	0,27±0,023	1,55	0,35±0,021
БС	1,39±0,037*	0,27±0,017	1,66	0,38±0,022
Ризогумін	1,30±0,056	0,28±0,029	1,58	0,34±0,021
Фаза зеленого бобу				
К	1,58±0,053	0,33±0,023	1,91	0,41±0,010
БС	1,82±0,089*	0,40±0,035	2,22	0,42±0,021
Ризогумін	1,59±0,051	0,34±0,023	1,93	0,38±0,024
Фаза початок достигання бобів				
К	1,43±0,048	0,36 ± 0,049	1,80	0,33 ± 0,021
БС	1,57±0,047*	0,36±0,032	1,93	0,34 ± 0,020
Ризогумін	1,54±0,045	0,37±0,004	1,91	0,32±0,018

Примітка. \*відмінності порівняно з контролем достовірні при  $P \leq 0,05$ ,  $n=4$

Таблиця 3

Вплив бактеріальних препаратів на співвідношення пігментів хлоропластів у листках нуту звичайного,  $M \pm m$

Варіант	Хл. <i>a</i> / Хл. <i>b</i>	Хл. ( <i>a</i> + <i>b</i> ) / каротиноїди	Хл. <i>a</i> / Хл. <i>b</i>	Хл. ( <i>a</i> + <i>b</i> ) / каротиноїди
Сорт Скарб		Сорт Ярина		
Фаза цвітіння				
К	4,52±0,21	3,45±0,09	4,55±0,11	2,65±0,14
БС	5,15±0,12*	3,90±0,17*	4,47±0,18	2,86±0,16
Ризогумін	5,36±0,22*	3,88±0,14*	4,56±0,33	2,97±0,11*
Фаза кінець цвітіння-початок утворення бобів				
К	4,11±0,22	4,77±0,31	4,74±0,22	4,42±0,05
БС	4,07±0,07*	4,34±0,18	5,15±0,08*	4,37±0,17
Ризогумін	3,97±0,12	4,97±0,14	4,64±0,31	4,65±0,11*
Фаза зеленого бобу				
К	4,37±0,24	5,24±0,33	4,79±0,21	4,66±0,23
БС	5,42±0,09*	5,37±0,17	4,55±0,11	5,29±0,17*
Ризогумін	4,26±0,14	5,39±0,13	4,68±0,13	5,08±0,15
Фаза початок достигання бобів				
К	4,41±0,26	4,94±0,24	3,97±0,12	5,45±0,13
БС	4,46±0,11	6,16±0,18*	4,36±0,08*	5,85±0,15*
Ризогумін	4,36±0,16	6,23±0,15*	4,16±0,13	5,97±0,14*

Примітка. \*відмінності порівняно з контролем достовірні при  $P \leq 0,05$ ,  $n = 4$

у фазах цвітіння, кінець цвітіння-початок утворення бобів та на початку досягання бобів. За інокуляції БС виявлено підвищення цих параметрів у фазах зеленого бобу та на початку досягання бобів.

### Обговорення

Особливості морфології, анатомії та фізіології листка *Cicer arietinum* L. забезпечує здійснення основної функції – фотосинтезу. Щоб охарактеризувати ступінь розвитку фотосинтетичного апарату нуту звичайного необхідно врахувати вміст хлорофілів у листках, оскільки це впливає на побічну характеристику потенціальної фотосинтетичної активності. Їх уміст та співвідношення фотосинтетичних пігментів визначається періодами онтогенезу рослин та абіотичними факторами. Пігментний комплекс є основою для претворення сонячної енергії на енергію хімічних зв'язків органічних речовин (Lichtenthaler, 1987). Активність процесу фотосинтезу залежить від наявності та активності хлорофілу «зелена кров рослин», що надає їм зеленого забарвлення, поглинає сонячне світло яке перетворюється на крохмаль та цукор (Бурикїна та ін., 2022). Хлорофіли *a* і *b* містяться у хлоропластах клітин вищих рослин, виконують основну функцію в світловій фазі фотосинтезу. Основним пігментом для фотосинтезу в зелених рослин є хлорофіл *a* (Мусієнко та ін., 2021).

Результати досліджень показали, що вміст зелених пігментів у листках нуту звичайного сортів Скарб та Ярина за вирощування в умовах Західного Лісостепу України за передпосівної обробки насіння БС та Ризогуміном залежить від впливу мікробних препаратів, періоду індивідуального розвитку та сортових особливостей рослин. Бактеріальні препарати статистично вірогідно підвищують уміст хлорофілу *a* у мезофілі листків нуту звичайного. Збільшення вмісту фотосинтетичних пігментів у листках нуту звичайного за впливу БС та Ризогуміну можна пояснити поліпшенням азотного живлення рослин дослідних варіантів за рахунок біологічної фіксації молекулярного нітрогену симбіотичними системами, утвореними інтродукованими штамми *M. ciceri* бактеріальних препаратів.

Показано, що обробка насіння наночастинками MgO, збільшує вміст хлорофілу та вуглеводів у листках нуту (Sharma et al., 2022).

Каротиноїди – це природні пігменти, синтезовані з рослин. Людина і тварини

не здатні до біосинтезу каротиноїдів, тому залежать від харчових джерел каротиноїдів. Каротини рослинного походження метаболізуються з утворенням вітаміну А з  $\alpha$ - і  $\beta$ -каротину і  $\beta$ -криптоксантину, а перетворення деяких каротинів на вітамін А відбувається у тварин. Каротиноїди можуть зменшувати перекисне окиснення ліпідів, ефективно поглинаючи вільні радикали, і захищати клітинні мембрани та ДНК від окисного пошкодження (Lichtenthaler, 1987). Ксантофіли – клас каротиноїдів, як і каротини приймають участь у поглинанні енергії світла в синьо-фіолетовій ділянці сонячного спектра та захищають фотосинтетичний апарат при підвищеній інсоляції (Biger, 1990).

Співвідношення каротиноїдів до хлорофілів вважають ознакою адаптації до стресів, менше його значення може свідчити про кращу адаптацію до несприятливих умов (Прядкіна та ін., 2021). Підвищення вмісту каротиноїдів пов'язують з впливом несприятливих чинників (Vuleta, 2015). Встановлено, що мікробні препарати суттєво не впливали на накопичення основних каротиноїдів у листках нуту звичайного обох сортів.

### Висновки

Аналіз динаміки вмісту пігментів упродовж генеративних фаз розвитку показав, що фотосинтетичний апарат нуту звичайного сортів Скарб та Ярина динамічно реагує на передпосівну обробку насіння БС та Ризогуміном за вирощування в умовах Західного Лісостепу. У результаті застосування бактеріальних препаратів на основі *M. ciceri* у технології вирощування культури поліпшується азотне живлення шляхом біологічної фіксації молекулярного нітрогену симбіотичними системами, а відтак статистично вірогідно підвищується вміст хлорофілів у листках рослин. Вміст хлорофілу *a* у мезофілі листків рослин нуту звичайного сортів Скарб та Ярина за впливу *M. ciceri* ND-64 упродовж генеративних фаз росту і розвитку статистично вірогідно збільшується на 18,6% (цвітіння) – 10,6% (початок досягання бобів) та 7,8% (цвітіння) – 15,2% (зелений біб). БС ефективніше впливає на накопичення пігментів у листках рослинами нуту звичайного порівняно з Ризогуміном. Мікробні препарати суттєво не впливають на вміст основних каротиноїдів у листках. Накопичення пластидних пігментів у мезофілі листків залежить від сортових особли-

востей рослин та фази онтогенезу. Листки нуту звичайного сорту Скарб характеризуються вищою кількістю суми хлорофілів порівняно з аналогічними показниками сорту Ярина.

Застосування мікробних препаратів на основі *M. ciceri* є перспективним елементом технології нуту звичайного, що підвищує уміст фотосинтетичних пігментів у листках і опосередковано впливає на його продуктивність.

### Список використаної літератури

- Бурикiна С.І., Парлікокошко М.С. Синтез хлорофілів в рослинах нуту за дії мінеральних добрив та інокулянтів. *Аграрні інновації. Меліорація, землеробство, рослинництво*. 2022. Вип. № 13. С. 13–23.
- Воропай Ю.В., Гепенко О.В. Вплив норм висіву та способів сівби на фотосинтетичний потенціал рослин нуту в Східному Лісостепу України. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. Сільськогосподарські науки*. 2024. Вип. 2 (43). С. 30–35. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-2.4>.
- Воропай Ю.В., Чигрин О.В., Деревянко І.О. Вплив елементів технології вирощування на вміст хлорофілу в рослинах нуту. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 135. Частина 1. С. 40–45. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.135.1.6>.
- Каталог сортів та гібридів селекційно-генетичного інституту національного центру насіннезнавства та сортовивчення. Одеса, 2023. 128 с.
- Мусієнко М.М., Паршикова Т.В., Славний П.С. Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин. К. : Фітоцентр, 2001. 200 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. Сільськогосподарські науки*. 2024. Вип. 1 (42). С. 39–46. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-1.6>.
- Прядкіна Г.О., Махаринська М.Н. Асиміляційний апарат листків окремих ярусів у сортів озимої пшениці за несприятливих умов навколишнього середовища. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. Т. 53. № 1. С. 74–86 <https://doi.org/10.15407/frg2021.01.74>.
- Ріст та розвиток нуту в умовах Північно-Східного Лісостепу України / Мельник А. В. та ін. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2020. Вип. 2 (40). С. 38–46.
- Січкач В.І. Відлуння нутового буму. *The Ukrainian Farmer*. 2019. № 3 (111). С. 118.
- Січкач В.І. Технологія для нуту. *The Ukrainian Farmer*. 2019. № 1 (109). С. 26.
- Січкач В.І., Бушуляк О.В. Перспективи селекції нуту в умовах північного Лісостепу України. *Вісник аграрної науки*. 2000. № 1. С. 38–40.
- Сортові ресурси зернобобових культур в Україні: сучасний стан і перспективи використання / Мазур В. А. та ін. Вінниця : ТВОРИ, 2022. 196 с.
- Степасюк Л.М. Перспективи вирощування нуту в Україні. *Формування ринкових відносин в Україні*. 2023. № 5 (264). С. 51–57.
- Сухова Г.І. Фотосинтетична діяльність сортів сочевиці в умовах Східного Лісостепу України. *Вісник ХНАУ. Серія: Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво*. 2012. № 2. С. 150–155.
- Щигорцова О.Л. Вирощування бобових культур – чини, сочевиці, гороху, нуту в Криму без застосування азотних добрив. «Проблеми та перспективи ведення землеробства в посушливій зоні Степу України» матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. М. Херсон 16–18 черв. 2009 р. Херсон : ІЗПР УААН, 2009. С. 161–163.
- Bacillus siamensis CNE6- a multifaceted plant growth promoting endophyte of *Cicer arietinum* L. having broad spectrum antifungal activities and host colonizing potential / Gorai S. P. et al. *Microbiological Research*. 2021. 252. P. 126859. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126859>.
- Biger W., Björkman O. Role of the xanthophylls cycle in photoprotection elucidated by measurements of lightinduced absorbance change, fluorescence and photosynthesis in leaves of *Hedera canariensis*. *Photosynthesis Research*. 1990. 25 (3). P. 173–185. <https://doi.org/10.1007/BF00033159>.
- Chapter 1 – Plant growth-promoting microbiomes: History and their role in agricultural crop improvement / Pandey V. V. et al. *Plant-Microbe Interaction – Recent Advances in Molecular and Biochemical Approaches*. 2023. Vol. 1. P. 1–44. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91875-6.00012-8>.

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

Lichtenthaler H.K. Chlorophyll and carotenoids: Pigments of photosynthetic membranes. *Methods in enzymology*. 1987. 148. P. 350–382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1).

MgO nanoparticles priming promoted the growth of black chickpea / Sharma P. et al. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2022. Vol. 10. 100435. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100435>.

Mordor Exploration. Global biofertilizers market growth, trends and forecast. 2022–2027 (2022).

Vuleta A., Manitasevic Jovanovic S., Tucic B. How do plants cope with oxidative stress in nature? A study on the dwarf bearded iris (*Iris pumila*). *Acta Physiol. Plant*. 2015. Vol. 37. P. 1711. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1711->.

Warkentin Genetic diversity of nutritionally important carotenoids in 94 pea and 121 chickpea accessions / Ashokkumar K. et al. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2015. Vol. 43. P. 49–60. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.04.014>.

Wellburn A.P. The spectral determination of chlorophyll a and b, as well as carotenoids using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *J. Plant. Physiol.*, 1994. Vol. 144 (3). P. 307–313.

Chickpea Varieties Productivity Depending on Combination of Different Sowing Methods and Sowing Rate in the Eastern Forests Steppe of Ukraine / Rozhkov A. O. et al. *Ecological engineering & Environmental technology*. 2022. Vol. 23. Is. 1. P. 88–101.

## References

Burykina, S.I., & Parlikokoshko, M.S. (2022). Syntez khlorofiliv v roslynakh nutu za dii mineralnykh dobryv ta inokuliantiv [Synthesis of chlorophylls in chickpea plants under the action of mineral fertilizers and inoculants]. *Ahrarni innovatsii. Melioratsiia, zemlerobstvo, roslynnystvo [Agricultural innovations. Land reclamation, agriculture, crop production]*, 3, 13–23 [in Ukrainian].

Voropai, Yu.V., & Hepenko, O.V. (2024). Vplyv norm vysivu ta sposobiv sivby na fotosyntetychnyi potentsial roslyn nutu v Skhidnomu Lisostepu Ukrainy [Influence of seeding rates and sowing methods on the photosynthetic potential of chickpea plants in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika. Silskohospodarski nauky [Podolsk Herald: Agriculture, Technology, Economics. Agricultural Sciences]*, 2 (43), 30–35 [in Ukrainian].

Voropai, Yu.V., Chyhryn, O.V., & Derevianko, I.O. (2024). Vplyv elementiv tekhnolohii vyroshchuvannya na vmist khlorofilu v roslynakh nutu [Influence of elements of cultivation technology on the chlorophyll content in chickpea plants]. *Tavriyskyi naukovyi visnyk [Tavria Scientific Bulletin]*, 135, 1, 40–45. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.135.1.6> [in Ukrainian].

Kataloh sortiv ta hibrydiv selektsiino-henetychnoho instytutu natsionalnoho tsentru nasinnieznavstva ta sortovyvchennia (2023). [Catalog of varieties and hybrids of the breeding and genetic institute of the national center of seed science and variety study]. Odesa, 128 p. [in Ukrainian].

Musiienko, M.M., Parshykova, T.V., & Slavnyi, P.S. (2021). Spektrofotometrychni metody v praktytsi fiziolohii, biokhimii ta ekolohii roslyn [Spectrophotometric methods in the practice of plant physiology, biochemistry and ecology]. K. : Fitotsentr. 200 [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. Silskohospodarski nauk [Podolsk herald: agriculture, technology, economics]*, 1 (42), 39–46. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-1.6> [in Ukrainian].

Priadkina, H.O., & Makharynska, M.N. (2021). Asymiliatsiinyi aparat lystkiv okremykh yarusiv u sortiv ozymoi pshenytsi za nespryiatlyvykh umov navkolyshnoho seredovyscha [Assimilation apparatus of leaves of separate tiers in winter wheat varieties under unfavorable environmental conditions]. *Fiziolohiia roslyn i henetyka [Plant physiology and genetics]*, 53, 1, 74–86. <https://doi.org/10.15407/frg2021.01.74> [in Ukrainian].

- Melnyk, A.V. (Ed.) (2020). Rist ta rozvytok nutu v umovakh Pivnichno-Skhidnoho Lisostepu Ukrainy [Growth and development of chickpeas in the North-Eastern Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu [Bulletin of Sumy National Agrarian University]*, 2 (40), 38–46 [in Ukrainian].
- Sichkar, V.I. (2019). Vidlunnia nutovoho bumy [Echoes of the chickpea boom]. *The Ukrainian Farmer*, 3 (111), 118 [in Ukrainian].
- Sichkar, V.I. (2019) Tekhnolohiia dlia nutu [Technology for chickpeas]. *The Ukrainian Farmer*, 1 (109), 26 [in Ukrainian].
- Sichkar, V.I., & Bushulian, O.V. (2000). Perspektyvy selektsii nutu v umovakh pivnichnoho Lisostepu Ukrainy [Prospects for chickpea breeding in the conditions of the northern Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk ahrarnoi nauky [Bulletin of Agrarian Science]*, 1, 38–40 [in Ukrainian].
- Mazur, V.A. (Ed.) (2022) Sortovi resursy zernobovovykh kultur v Ukraini: suchasnyi stan i perspektyvy vykorystannia [Varietal resources of leguminous crops in Ukraine: current state and prospects of use]. Vinnytsia : TVORY, 196 p. [in Ukrainian].
- Stepasiuk, L.M. (2023). Perspektyvy vyroshchuvannia nutu v Ukraini [Prospects for growing chickpeas in Ukraine]. *Formuvannia rynkovykh vidnosyn v Ukraini [Formation of market relations in Ukraine]*, 5 (264), 51–57 [in Ukrainian].
- Sukhova, H.I. (2012). Fotosyntetychna diialnist sortiv sochevysi v umovakh Skhidnoho Lisostepu Ukrainy [Photosynthetic activity of lentil varieties in the conditions of the Eastern Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk KhNAU. Serii: Roslynnytstvo, selektsiia i nasinnytstvo, plodoovochivnytstvo [Visnyk KhNAU. Series: Crop production, breeding and seed production, horticulture]*, 2, 150–155 [in Ukrainian].
- Shchyhortsova, O.L. (2009). Vyroshchuvannia bobovykh kultur – chyny, sochevysi, horokhu, nutu v Krymu bez zastosuvannia azotnykh dobryv [Cultivation of leguminous crops – peas, lentils, peas, chickpeas in the Crimea without the use of nitrogen fertilizers]. «*Problemy ta perspektyvy vedennia zemlerobstva v posushlyvii zoni Stepu Ukrainy [Problems and prospects of farming in the arid zone of the Steppe of Ukraine]*» materialy Vseukr. nauk.-prakt. konf. Kherson: IZPR UAAN, pp. 161–163 [in Ukrainian].
- Gorai, S.P. (Ed.) (2021). *Bacillus siamensis* CNE6- a multifaceted plant growth promoting endophyte of *Cicer arietinum* L. having broad spectrum antifungal activities and host colonizing potential. *Microbiological Research*, 252, 126859. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126859> [in English].
- Biger, W., & Björkman, O. (1990). Role of the xanthophylls cycle in photoprotection elucidated by measurements of lightinduced absorbance change, fluorescence and photosynthesis in leaves of *Hedera canariensis*. *Photosynthesis Research*, 25 (3), 173–185. <https://doi.org/10.1007/BF00033159> [in English].
- Pandey, V.V. (Ed.) (2023). Chapter 1 – Plant growth-promoting microbiomes: History and their role in agricultural crop improvement. *Plant-Microbe Interaction – Recent Advances in Molecular and Biochemical Approaches*, 1, 1–44. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91875-6.00012-8> [in English].
- Parihar, P. (Ed.) (2022). Chapter 13 – Biostimulants for improving nutritional quality in legumes. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*, 261–275. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85579-2.00011-3> [in English].
- Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophyll and carotenoids: Pigments of photosynthetic membranes. *Methods in enzymology*, 148, 350–382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1) [in English].
- Sharma, P. (Ed.) (2022). MgO nanoparticles priming promoted the growth of black chickpea. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, 100435. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100435> [in English].
- Mordor Exploration. Global biofertilizers market growth, trends and forecast. 2022–2027 (2022) [in English].
- Vuleta, A., Manitasevic, Jovanovic, S., & Tucic, B. (2015). How do plants cope with oxidative stress in nature? A study on the dwarf bearded iris (*Iris pumila*). *Acta Physiol. Plant.*, 37, 1711. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1711-> [in English].

Ashokkumar, K. (Ed.) (2015). Warkentin Genetic diversity of nutritionally important carotenoids in 94 pea and 121 chickpea accessions. *Journal of Food Composition and Analysis*, 43, 49–60. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.04.014> [in English].

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

Rozhkov, A.O. (2022). Chickpea Varieties Productivity Depending on Combination of Different Sowing Methods and Sowing Rate in the Eastern Forests Steppe of Ukraine. *Ecological engineering & Environmental technology*, 23 (1), 88–101 [in English].

Отримано: 26.07.2024

Прийнято: 14.08.2024



УДК 582.261./ .279

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.6>

## **ДЕЯКІ АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ МЕТАУГРУПОВАНЬ ПРИ КОМПЛЕКСНОМУ ВИВЧЕННІ ФІТОПЛАНКТОНУ, МІКРОФІТОБЕНТОСУ, ФІТОПЕРИФІТОНУ КОНТИНЕНТАЛЬНИХ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ**

**В. І. Юришинець<sup>1</sup>, Н. Є. Семенюк<sup>2</sup>, В. І. Щербак<sup>3</sup>, О. А. Давидов<sup>4</sup>,  
Е. Ш. Козійчук<sup>5</sup>, Ю. С. Шелюк<sup>6</sup>**

*У роботі обговорюються деякі актуальні питання застосування теорії метаугруповань у вивченні планктонних і контурних альгоугруповань та наведено перші результати натурних досліджень в аспекті цієї проблематики на континентальних водних екосистемах України. Класичні екологічні науки, які досліджують угруповання організмів (такі як біоценологія), зосереджуються на локальному масштабі, переважно розглядаючи взаємодію видів у межах локальних угруповань. Насправді ж міжвидові взаємодії також відбуваються і між різними локальними угрупованнями, мережа яких і формує метаугруповання. Узагальнення літературних даних*

<sup>1</sup> доктор біологічних наук, професор, заступник директора з наукової роботи  
(Інститут гідробіології НАН України, м. Київ)  
e-mail: ciliator@ukr.net

ORCID: 0000-0001-6310-7874

<sup>2</sup> доктор біологічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник  
(Інститут гідробіології НАН України, м. Київ)  
e-mail: natasemenyuk@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4447-3507

<sup>3</sup> доктор біологічних наук, професор, провідний науковий співробітник  
(Інститут гідробіології НАН України, м. Київ)  
e-mail: ek424nat@ukr.net

ORCID: 0000-0002-1237-6465

<sup>4</sup> 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

<sup>5</sup> кандидат біологічних наук, молодший науковий співробітник  
(Інститут гідробіології НАН України, м. Київ)  
e-mail: elina.koziychuk@gmail.com

ORCID: 0009-0002-5762-938X

<sup>6</sup> 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



та результатів власних натурних досліджень показує, що теорія метаугруповань може слугувати потужним теоретичним підґрунтям при комплексному вивченні різноманіття водоростей лотичних і лентичних водних екосистем з різним ступенем ізольованості/сполученості. До актуальних проблем дослідження водоростей в контексті теорії метаугруповань належать: дискусійне питання наявності географічних бар'єрів в розповсюдженні водоростей; зв'язок між розселенням ціанобактерій та поширенням явищ «цвітіння» води; обмін видами між планктонними та контурними водоростевими угрупованнями; вивчення водоростевих метаугруповань у тримірному просторі; залежність процесу розселення від просторової конфігурації та сполученості локалітетів.

**Ключові слова:** метаугруповання, водорості, локалітет, регіон, взаємодія видів, «цвітіння води», фітопланктон, мікрофітобентос, фітоперифітон.

## SOME ISSUES AND CHALLENGES OF APPLYING METACOMMUNITY THEORY IN COMPLEX STUDIES OF PHYTOPLANKTON, PHYTOBENTHOS AND PHYTOPERIPHYTON OF CONTINENTAL AQUATIC ECOSYSTEMS

V. I. Yuryshynets, N. Ye. Semeniuk, V. I. Shcherbak, O. A. Davydov,  
E. Sh. Koziychuk, Yu. S. Shelyuk

*The paper discusses some issues and challenges of applying the metacommunity theory in complex studies of planktonic and contour algal communities and sets forth the first results of field studies in the aspect of these issues on continental aquatic ecosystems of Ukraine. Classic ecological sciences (such as community ecology) focus on local scale, mainly considering species interaction within local communities. However, species also interact among different local community, the network of which forms a metacommunity. Summarizing the data from literature and the results of field studies shows that the metacommunity theory may serve as powerful theoretical basis in complex studies of algae diversity of lotic and lentic ecosystems with different degree of connectivity. The issues of algae studies in the metacommunity theory context include: discursive question about presence of geographic barriers in algae dispersal; relation between Cyanobacteria dispersal and algal blooms; exchange of species between planktonic and contour algal communities; algal metacommunities in three-dimensional space; relation between algae dispersal and aquatic ecosystems configuration and connectivity.*

**Key words:** metacommunities, algae, locality, region, species interaction, algal blooms, phytoplankton, phytobenthos, phytoperiphyton.

### Вступ

Теорія метаугруповань застосовується в біологічних дослідженнях починаючи з 90-х років минулого сторіччя (Hanski & Gilpin, 1991; Wilson, 1992). Найбільш ґрунтовно її основні положення висвітлені в роботі (Leibold et al., 2004), де метаугруповання визначається як набір локальних угруповань, які пов'язані між собою шляхом розселення ряду потенційно взаємодіючих видів.

Новизна цієї теорії зумовлена тим, що класичні екологічні науки, які досліджують угруповання організмів (наприклад, біоценологія, синекологія), зосереджуються на локальному масштабі, переважно розглядаючи взаємодію видів у межах локальних угруповань, зокрема, згідно з класичною моделлю Лотки–Вольтерри (хижак – жертва). Насправді ж міжвидові взаємодії відбуваються не тільки в межах одного локального угруповання, але й між різними локальними угрупованнями, мережа яких і формує

метаугруповання. Наприклад, розселення призводить до збільшення локального видового різноманіття, дозволяючи новим видам потрапити до угруповань і компенсувати локальне вимирання, а обмеження в розселенні – навпаки, може перешкоджати видам досягати потенційно придатних локалітетів. Отже, кількість видів, присутніх у певному локалітеті, відображає не тільки локальні умови, але й ступінь сполученості з іншими ділянками (Leibold et al., 2004).

У контексті теорії метаугруповань закономірності поширення, кількісного розвитку та взаємодії організмів вперше розглядаються в двох різних просторових масштабах: *локальному* (масштабі локалітету) та *регіональному* (масштабі регіону). Кожному з цих просторових масштабів відповідає свій дискретний рівень інтеграції угруповань: локалітету відповідає *локальне угруповання*, а регіону – *метаугруповання*. Відповідно існують два типи чинників, що впливають на структуру угруповань:

локальні (або детерміністичні), які включають абіотичні умови та біотичні взаємодії між видами, і регіональні (або стохастичні) – процеси розселення організмів (Leibold et al., 2004; Vanormelingen et al., 2008; Cauvy-Fraunie et al., 2015; Jamoneau et al., 2018).

У водних екосистемах важливими компонентами біорізноманіття є фітопланктон, мікрофітобентос, фітоперифітон, фітоепіфітон. Оскільки водорості – основні первинні продуценти, то обмін видами між їхніми локальними угрупованнями впливає і на вищі трофічні рівні у харчовій мережі водної екосистеми (Jamoneau et al., 2018). Вивчення просторової динаміки водоростей лежить в основі розуміння таких екологічних процесів, як сукцесія, колонізація, диференціація ніш, конкуренція (Machová-Cerná & Neustupa, 2009).

Теорія метаугруповань може слугувати новим потужним теоретичним підґрунтям для комплексного дослідження водоростей планктону, бентосу, перифітону, зокрема:

– Розглядає локальні та регіональні чинники й дозволяє поєднати біогеографічний та біоценологічний напрями в комплексних альгологічних дослідженнях. Це актуально в контексті сучасних змін навколишнього середовища, які впливають на водні екосистеми в регіональному масштабі, наприклад, кліматичних змін, фрагментації біотопів, забруднення (Benito et al., 2018).

– Вивчення закономірностей просторової динаміки водоростей за допомогою теорії метаугруповань дає важливу інформацію з біорізноманіття водних екосистем, що є невід’ємною передумовою для формування стратегій його збереження та раціонального (невиснажливого) природокористування (Machová-Cerná & Neustupa, 2009; Cerná, 2010; Bortolini et al., 2019).

– Теорія метаугруповань дозволяє з’ясувати вплив детерміністичних процесів (екологічних чинників) та стохастичних (розселення організмів) у формуванні структури фітопланктону, мікрофітобентосу, фітоперифітону (Heino et al., 2015; Devercelli et al., 2016; Bortolini et al., 2019).

– Актуальний напрямок застосування даної теорії пов’язаний з дослідженням «цвітіння» води, оскільки високі темпи розселення ціанобактерій та глобальне потепління сприяють поширенню цього явища (Shcherbak, 2019; Shcherbak et al., 2022, 2024). Це, безперечно, є важливим кроком у розробці стратегій управління водними

об’єктами та мінімізації наслідків «цвітіння» води (Katsiari et al., 2020).

**Мета роботи** – окреслити деякі актуальні питання застосування теорії метаугруповань у вивченні планктонних і контурних альгоугруповань та навести перші результати натурних досліджень в аспекті цієї проблематики на континентальних водних екосистемах України.

### **Матеріал і методи**

Робота ґрунтується на результатах аналізу наукової літератури та оригінальних даних багаторічних натурних досліджень на водних екосистемах України з 2008 по 2023 рр. (Семенюк, 2020; Давидов і Козійчук, 2024; Щербак та ін., 2023а, 2023б, 2024). Також використані неопубліковані результати досліджень на Київському, Канівському водосховищах та р. Десна в літній сезон 2021 р. та на Канівському вдсх. восени 2022 р.

Оскільки в Україні термінологія теорії метаугруповань ще недостатньо розроблена, у роботі використані терміни, вживані в англійській літературі:

Альгометаугруповання, водоростеві метаугруповання – від англ. *algal metacommunities* (Passy, 2007; Budnick et al., 2021; Kim et al., 2021; Srednick et al., 2023), *algae metacommunities* (Branco et al., 2014).

Метаугруповання фітопланктону – від англ. *phytoplankton metacommunity* (Bortolini et al., 2017, 2019); метаугруповання перифітону – від англ. *periphyton metacommunity* (Algarte et al., 2014); метаугруповання бентосу – від англ. *benthic metacommunity* (Cobelas & Rojo, 2023). Також вживається термін метаугруповання діатомових водоростей – від англ. *diatom metacommunity* (Bottin et al., 2016).

### **Результати та обговорення**

Узагальнення літературних даних дозволило сформулювати низку актуальних проблем дослідження водоростей різних екологічних груп у контексті теорії метаугруповань, що проілюстровано прикладами на основі перших результатів власних натурних досліджень.

1. *Проблема існування географічних обмежень у розселенні мікроводоростей.* Розселення мікроскопічних організмів, у тому числі мікроводоростей, є дискусійним питанням, щодо якого існують дві протилежні точки зору:

1) Перша базується на аргументації, що для організмів розміром до 1 мм практично не існує географічних бар’єрів у розсе-

ленні, вони є космополітами. Прихильники цієї точки зору вважають, що поширення вільноживучих мікроскопічних організмів визначається двома чинниками: необмеженим розселенням і локальними умовами середовища, та навіть піддають сумніву існування ендемічних видів мікроскопічних організмів (Finlay, 2002; Ptacnik et al., 2010). Це узгоджується з ідеєю «все є всюди, але середовище обирає» (Beijerinck, 1913 [цит. за: De Wit & Bouvier, 2006]; Baas Becking, 1934 [цит. за: De Wit & Bouvier, 2006]; Finlay et al., 2002).

2) Друга – полягає в тому, що мікроскопічні організми демонструють такі ж біогеографічні закономірності у поширенні, як і макроскопічні, тобто на їхні угруповання впливають як локальні чинники (екологічні умови), так і регіональні (історичні процеси, розселення організмів) (Passy, 2009; Bottin et al., 2014; Soininen, 2016). Цю думку поділяє Й. Крістіансен (Kristiansen, 1996), зазначаючи, що водорості здатні розселятися на великі відстані (до декількох сотень кілометрів), але обмеження у їхньому розселенні все ж існують. Це пов'язано з тим, що: а) ефективність розселення водоростей залежить від способу розселення; б) шанси на успішне розселення знижуються зі збільшенням відстані.

Наявність різних точок зору щодо розселення водоростей свідчить про необхідність більш ґрунтовних досліджень цієї проблеми в контексті теорії метаугруповань.

Щодо першої точки зору – дійсно, проведення додаткових досліджень може розширити географію знахідок водоростей. Зокрема, при вивченні водоростевих угруповань р. Західний Буг було проведено пошук цікавих видів водоростей з точки зору їхнього географічного поширення в Україні

(Щербак та ін., 2024). Основну увагу було приділено видам Bacillariophyta, поширення яких згідно з (Гопачевський і Оксіюк, 1960) переважно обмежувалось північно-західними регіонами України. Серед таких видів зазначались *Cocconeis neodiminuta* Krammer, *Diploneis oculata* (Brébisson) Cleve, *Odontidium anceps* (Ehrenberg) Ralfs, *Odontidium mesodon* (Ehrenberg) Kützing, *Meridion circulare* (Greville) C. Agardh тощо. Проте аналіз літературних джерел, опублікованих після 1960 р. та процитованих у роботі (Щербак та ін., 2024), показав, що географія знахідок цих видів значно розширилась, вони зустрічаються також і в центральних та південних регіонах України.

Важливо, що зазначені види зареєстровані також і у водних об'єктах басейну р. Вісла на території Польщі. Наприклад, види *Meridion circulare* та *Diatoma mesodon*, які були виявлені у р. Західний Буг та її допливах (Щербак та ін., 2024), часто зустрічаються у річковому басейні р. Вісла, зокрема у р. Сян (Noga et al., 2014, 2016). Це може слугувати ілюстрацією і другої точки зору, а саме, що поширення цих видів демонструє певні біогеографічні закономірності та визначається як локальними, так і регіональними чинниками. У якості локальних чинників виступають лотичні умови, оскільки *Meridion circulare* та *Diatoma mesodon* є видами, які віддають перевагу текучим водам (Zalat et al., 2022), а в якості регіональних чинників – розселення видів водним і повітряним шляхом.

Іншим прикладом є дендрограма подібності видового складу фітоепіфітону водосховищ Дніпровських водосховищ і Нижнього Дніпра за коефіцієнтом Серенсена (рис. 1).

Так, водоростеві угруповання дніпровських водосховищ закономірно розташо-

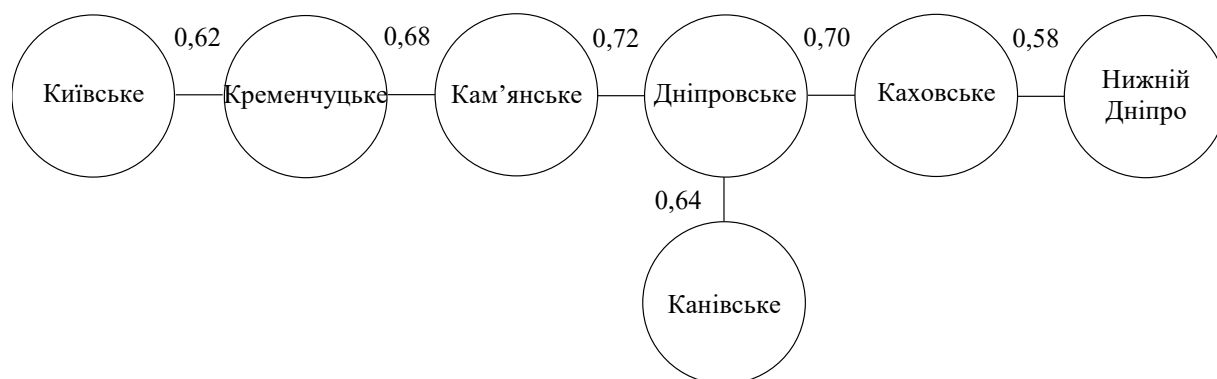


Рис. 1. Дендрограма подібності видового складу фітоепіфітону водосховищ Дніпровського каскаду та Нижнього Дніпра за коефіцієнтом Серенсена в 2008–2019 рр. (Семенюк, 2020).

вуються на дендрограмі в географічній послідовності. Це свідчить про поступові просторові зміни видового складу фітоепіфітону – від Київського водосховища до Нижнього Дніпра, що зумовлено: а) локальними детерміністичними чинниками (гідрологічними, гідрохімічними, кліматичними умовами), які поступово змінюються з півночі на південь України; б) регіональними стохастичними чинниками, тобто розселенням водоростей.

Вищенаведена дендрограма може слугувати вдалою ілюстрацією твердження Й. Крістіансена (Kristiansen, 1996) про те, що шанси успішного розселення водоростей знижуються зі збільшенням відстані. Із загальною картиною не узгоджується лише фітоепіфітон Канівського водосховища, який є найбільш подібним до Дніпровського водосховища (див. рис. 1). Це ймовірно зумовлено локальними чинниками та потребує подальших досліджень.

2. Зв'язок між розселенням ціанобактерій та поширенням явищ «цвітіння» води. Географічна експансія ціанобактерій є загальновідомим феноменом (Jöhnk et al., 2008; Paerl et al., 2011; Kosten et al., 2012; Pätynen et al., 2014; Rasconi et al., 2015; Rollwagen-Bollens et al., 2018; Ninio et al., 2020; Gophen, 2021). Вважається, що збільшення частоти явищ «цвітіння» води, зокрема видами з роду *Microcystis*, пов'язане з глобальним потеплінням та регіональним евтрофуванням, а також їхньою здатністю переноситись на великі відстані та адаптуватись до різних екологічних умов (Sukenik et al., 2015; Shcherbak, 2019; Katsiapi et al., 2020; Shcherbak et al., 2022, 2024). Існує навіть думка (Katsiapi et al., 2020), що за останні десятиліття різноманіття ціанобактерій демонструє чіткі ознаки «гомогенізації», іншими словами, відбувається зниження бета-різноманіття ціанобактерій, тобто зменшення відмінностей між їхніми локальними угрупованнями.

Вивчення просторової динаміки ціанобактерій на прикладі фітопланктону р. Західний Буг та Канівського водосховища, дозволило встановити, що їхній видовий склад у досліджуваних водних екосистемах суттєво відрізняється (табл. 1). Тобто ознак «гомогенізації» різноманіття ціанобактерій, про яку йшлося вище, не спостерігається. Коефіцієнт Серенсена між видовим складом ціанобактерій у річці та водосховищі складав лише 0,28, а отже бета-різноманіття (відмінність) між цими

двома водними екосистемами є високим. Розрахований коефіцієнт обігу видів (коефіцієнт відмінності (бета) Сімпсона) складав 0,66, а коефіцієнт вкладеності видової структури був значно нижчим – 0,09. Отже, можна стверджувати, що відмінність між локальними угрупованнями ціанобактерій у р. Західний Буг та Канівському водосховищі переважно визначається сортуванням видів (тобто види займають найбільш сприятливі для них локалітети).

Цікаво, що зареєстровано лише два спільних види ціанобактерій для річки та водосховища (*Microcystis aeruginosa* та *M. wesenbergii*), які є загальновідомими збудниками «цвітіння» води. Слід зауважити, що чисельність і біомаса *M. aeruginosa* та *M. wesenbergii* у річці є значно меншими, ніж у водосховищі. Проте їхня присутність у фітопланктоні типово лотичної екосистеми (р. Західний Буг) підтверджує тезу про повсюдне розселення зазначених видів, а також вказує, що за певних умов потенційно можливими є явища «цвітіння» води. У цілому, наведені натурні дані свідчать про необхідність майбутніх досліджень у цьому напрямку.

3. Закономірності обміну видами між різнотипними водоростевими угрупованнями. Обмін видами між фітопланктоном, мікрофітобентосом та фітоперифітоном – це складне питання, яке на сьогодні недостатньо досліджене, й публікації є нечисленними (Jenkerson & Hickman, 1986; Passy et al., 1999).

Слід підкреслити, що в цитованих вище роботах та іншій опрацьованій нами літературі з цієї проблематики автори комплексно не розглядали досліджуваний набір різнотипних альгоугруповань як метаугруповання та не застосовували до нього цього терміну. У той же час, отримані результати (Zadorozhna et al., 2017; Щербак та ін., 2023, 2024) свідчать про те, що процес переходу видів з фітопланктону у мікрофітобентос та фітоепіфітон і навпаки має важливе значення у формуванні структури локальних угруповань, а отже набір різнотипних водоростевих угруповань в одному локалітеті (а в деяких випадках навіть з різних локалітетів) також можна вважати метаугрупованням. Так, на основі натурних даних отриманих на р. Західний Буг та її допливах (жовтень 2018 р.) (Щербак та ін., 2024) та Канівському водосховищі й озерах м. Києва (жовтень 2022 р.), було проведено порівняння видового складу різнотипних альгоугруповань за

Таблиця 1

Просторова динаміка ціанобактерій планктону у різних локалітетах р. Західний Буг та Канівського водосховища

Види	р. Західний Буг				Канівське вдсх.		
	верхів'я біля с. Верхобуж	верхів'я біля с. Опаки	вище м. Червоноград	в межах м. Сокаль	затока Собаче Гирло	затока Оболонь	руслова частина
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> Ralfs ex Bornet & Flahault	-	-	$\frac{226}{0,023}$	-	-	-	-
<i>Aphanocapsa grevillei</i> (Berkeley) Rabenhorst	-	-	-	-	-	-	$\frac{665}{0,043}$
<i>Aphanothece stagnina</i> (Sprengel) A. Braun	-	-	-	-	-	$\frac{2580}{0,108}$	$\frac{500}{0,021}$
<i>Coelomoron pusillum</i> (Van Goor) Komárek	-	-	-	-	-	$\frac{168}{0,002}$	-
<i>Dolichospermum flosaquae</i> (Brebisson ex Bornet & Flahault) P. Wacklin, L. Hoffmann & J. Komárek	-	-	-	-	$\frac{230}{0,041}$	-	$\frac{180}{0,032}$
<i>Limnothrix redekei</i> (Goor) Meffert	-	-	-	-	-	$\frac{100}{0,003}$	-
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	-	-	$\frac{1330}{0,150}$	-	$\frac{9970}{1,127}$	$\frac{90}{0,010}$	$\frac{560}{0,063}$
<i>Microcystis pulverea</i> (H. C. Wood) Forti	-	-	-	-	$\frac{1330}{0,005}$	$\frac{15264}{0,061}$	$\frac{4592}{0,018}$
<i>Microcystis wesenbergii</i> (Komárek) Komárek ex Komárek	-	-	$\frac{480}{0,054}$	-	$\frac{2640}{0,298}$	$\frac{1362}{0,154}$	$\frac{7238}{0,818}$
<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek	-	-	-	$\frac{855}{0,012}$	-	-	-
<i>Anagnostidinema amphibium</i> (C. Agardh ex Gomont) Strunecký, Bohunická, J. R. Johansen & J. Komárek	$\frac{86}{0,004}$	$\frac{24}{0,001}$	$\frac{75}{0,004}$	$\frac{685}{0,034}$	-	-	-
<i>Jaaginema geminatum</i> (Schwabe ex Gomont) Anagnostidis & Komárek	-	-	$\frac{50}{0,002}$	$\frac{75}{0,003}$	-	-	-
Σ	$\frac{86}{0,004}$	$\frac{24}{0,001}$	$\frac{2161}{0,233}$	$\frac{1615}{0,049}$	$\frac{14170}{1,472}$	$\frac{19564}{0,339}$	$\frac{13735}{0,996}$

Примітка. 1. Над рискою – чисельність, під рискою – біомаса. 2. Для р. Західний Буг наведено дані за жовтень 2018 р., для Канівського водосховища – за жовтень 2022 р.

коефіцієнтами Серенсена ( $K_{SOR}$ ): попарними (Sørensen, 1948) і множинними (Baselga, 2010). Також виділено види, які є спільними для планктону, бентосу та перифітону, тобто види, які дають підставу розглядати сукупність трьох різнотипних угруповань як метаугруповання (табл. 2).

Найвищий рівень подібності між планктоном, бентосом й обростаннями зареєстровано для локалітетів лотичних систем (множинний  $K_{SOR} = 0,28 \pm 0,02$ ), дещо нижчий – для лотично-лентичних ( $0,24 \pm 0,01$ ) і найнижчий – для лентичних ( $0,17 \pm 0,04$ ). Подібна закономірність встановлена і для

попарних  $K_{SOR}$ . Аналогічне ранжирування було характерно і для кількості видів, спільних для трьох різнотипних угруповань: для лотичних систем – 4–11 спільних видів, для лотично-лентичних – 2–4, для лентичних – 1–2 (див. табл. 2). Отже, найбільш інтенсивний обмін видами між планктонними та контурними угрупованнями відбувається в лотичних умовах, вочевидь завдяки високій гідродинаміці водних мас.

Найвищий рівень подібності між планктоном, бентосом й обростаннями зареєстровано для локалітетів лотичних систем (множинний  $K_{SOR} = 0,28 \pm 0,02$ ), дещо ниж-

Таблиця 2

Порівняльний аналіз видового складу фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоперифітону в деяких локалітетах лотичних, лотично-лентичних та лентичних екосистем

Локалітети	Попарні $K_{SOR}$			Множинний $K_{SOR}$ ФПЛ / МФБ / ФПер	Спільні види для трьох угруповань
	ФПЛ / МФБ	ФПЛ / ФПер	МФБ / ФПер		
<i>Лотичні системи (р. Західний Буг та її допливи)</i>					
верхів'я р. Західний Буг	0,17	0,22	0,44	0,33	<i>Cocconeis placentula</i> , <i>Eunotia bilunaris</i> , <i>Navicula cryptocephala</i> , <i>Ulnaria ulna</i>
р. Рата	0,20	0,22	0,42	0,26	<i>Amphora ovalis</i> , <i>Cocconeis placentula</i> , <i>Fragilaria crotonensis</i> , <i>Melosira varians</i> , <i>Navicula tripunctata</i> , <i>Nitzschia palea</i>
р. Солокія	0,20	0,12	0,43	0,25	<i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Cocconeis placentula</i> , <i>Stephanocyclus meneghinianus</i> , <i>Nitzschia palea</i> , <i>Ulnaria acus</i>
р. Варешанка	0,29	0,24	0,38	0,27	<i>Surirella librile</i> , <i>Gomphonella olivacea</i> , <i>Gomphonema parvulum</i> , <i>Melosira varians</i> , <i>Navicula cryptocephala</i> , <i>N. tripunctata</i> , <i>Nitzschia palea</i> , <i>N. pusilla</i> , <i>Placoneis dicephala</i> , <i>Stephanodiscus hantzschii</i> , <i>Tetrademus lagerheimii</i>
<b>У середньому</b>	<b>0,22±0,03</b>	<b>0,20±0,03</b>	<b>0,42±0,01</b>	<b>0,28±0,02</b>	–
<i>Лотично-лентичні системи (Канівське вдсх.)</i>					
затока Собаче Гирло	0,24	0,14	0,45	0,26	<i>Cocconeis placentula</i> , <i>Navicula tripunctata</i> , <i>Staurosira construens</i> , <i>Ulnaria ulna</i>
затока Оболонь	0,09	0,05	0,49	0,22	<i>Staurosira construens</i> , <i>Stephanodiscus hantzschii</i>
руськова ділянка Канівського вдсх.	0,15	0,07	0,50	0,24	<i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Cocconeis placentula</i>
<b>У середньому</b>	<b>0,16±0,04</b>	<b>0,09±0,03</b>	<b>0,48±0,02</b>	<b>0,24±0,01</b>	–
<i>Лентичні системи (озера м. Києва)</i>					
оз. Йорданське	0,13	0,03	0,48	0,21	<i>Cocconeis placentula</i>
оз. Вербне	0,11	0,09	0,22	0,13	<i>Cocconeis placentula</i> , <i>Pseudopediastrum boryanum</i>
<b>У середньому</b>	<b>0,12±0,01</b>	<b>0,06±0,03</b>	<b>0,35±0,13</b>	<b>0,17±0,04</b>	–

Примітка. ФПЛ – фітопланктон; МФБ – мікрофітобентос; ФПер – фітоперифітон, включаючи фітоепіфітон. Множинний  $K_{SOR}$  – коефіцієнт Серенсена для порівняння трьох і більше локальних угруповань, розрахований згідно (Baselga, 2010). Для р. Західний Буг наведено дані за жовтень 2018 р., для Канівського водосховища та озер м. Києва – за жовтень 2022 р.

чий – для лотично-лентичних ( $0,24 \pm 0,01$ ) і найнижчий – для лентичних ( $0,17 \pm 0,04$ ). Подібна закономірність встановлена і для попарних  $K_{SOR}$ . Аналогічне ранжирування було характерно і для кількості видів, спільних для трьох різнотипних угруповань: для лотичних систем – 4–11 спільних видів, для лотично-лентичних – 2–4, для лентичних – 1–2 (див. табл. 2). Отже, найбільш інтенсивний обмін видами між планктонними та контурними угрупованнями відбувається в лотичних умовах, вочевидь завдяки високій гідродинаміці водних мас.

Таким чином, розглянуті результати натурних досліджень ще раз підтверджують правомірність застосування терміну «метаугруповання» до сукупності різнотипних альгоугруповань планктону, бентосу, перифітону. Адже якщо два або більше видів присутні в наборі локальних угруповань, то вони формують метаугруповання (Hanski & Gilpin, 1991).

У цілому ж, обмін видами між планктоном, бентосом та перифітоном є перспективним напрямком для подальших досліджень у контексті теорії метаугруповань. При розробці цього напрямку виникає багато питань, зокрема термінологічного характеру. Наприклад, в теорії метаугруповань площа місцезнаходження, яка містить метаугруповання, називається регіоном, а стохастичні процеси розселення організмів, які діють на цьому рівні – регіональними чинниками. Проте згідно (Leibold et al., 2004) регіон – це велика площа, яка включає декілька локалітетів. І, відповідно, якщо вивчається метаугруповання, яке складається з планктону, бентосу та перифітону в одному локалітеті (з однаковими географічними координатами), то місцезнаходження такого метаугруповання вже не можна назвати регіоном. Тобто термінологічні питання потребують більш детального опрацювання.

Інший важливий аспект цієї проблематики полягає в тому, що обмін видами може відбуватись не тільки між різними екологічними групами в межах одного локалітету, але й між різними екологічними групами та різними локалітетами. Особливо це стосується гідросистем з розвиненою системою допливів, додаткових водойм, які є джерелом видів для збільшення біорізноманіття основного русла (Oksiyuk et al., 2000).

Питання обміну видами між планктоном, бентосом та перифітоном тісно пов'язане з іншою актуальною проблемою – дослі-

дженням водоростевих метаугруповань у тримірному просторі.

4. Вивчення альгометаугруповань у тримірному просторі в локальному та регіональному масштабі. Відомо (Hilt, 2015; Мінічева та ін., 2024), що водна екосистема являє собою тримірний простір, оскільки має такі біотопи як пелагіаль, літораль і бенталь. А отже, метаугруповання водоростей також доцільно розглядати в тримірному просторі: за перші два виміри приймаємо географічні координати (широту і довготу), а як третій вимір додаємо «вертикаль», тобто систему «товща води – дно – вищі водні рослини».

Для ілюстрації даних підходів наведено блок-схему за результатами комплексного вивчення різнотипних водоростевих угруповань лотично-лентичної ділянки Канівського водосховища (рис. 2).

На даному рисунку прикладами локалітетів (локальний масштаб) є товща води, дно та вищі водні рослини (ВВР) у межах затоки Собаче Гирло та руслової ділянки Канівського водосховища. Видове різноманіття відповідних локальних угруповань водоростей нараховує від 31 виду та внутрішньовидового таксону (ввт) (фітопланктон руслової ділянки) до 58 ввт (мікрофітобентос затоки Собаче Гирло).

У якості регіону (регіональний масштаб) розглядається верхня ділянка Канівського водосховища (тобто велика площа місцезнаходження, яка включає декілька локалітетів). У даному випадку для спрощення блок-схеми наведено лише два локалітети: лентичний (затока Собаче Гирло) і лотичний (руслова ділянка), хоча досліджувалась значно більша їх кількість. Вважаємо, що регіон необхідно аналізувати в наступних аспектах:

1. У двовимірному (горизонтальному) просторі: окремо для товщі води, окремо для дна і окремо для ВВР декількох локалітетів. Наприклад, локальні угруповання фітопланктону затоки Собаче Гирло (43 ввт) і руслової ділянки (31 ввт) пов'язані між собою 10 спільними (тобто, потенційно взаємодіючими видами), а отже сукупність цих двох локальних угруповань може розглядатись як метаугруповання. У цілому, зазначене метаугруповання фітопланктону нараховує  $43+31 - 10 = 64$  ввт.

2. У тривимірному просторі (горизонтальна площина + вертикаль): в сукупності для товщі води, дна та ВВР декількох локалітетів. З вищенаведеного рис. 2 видно, що різнотипні локальні угруповання в межах

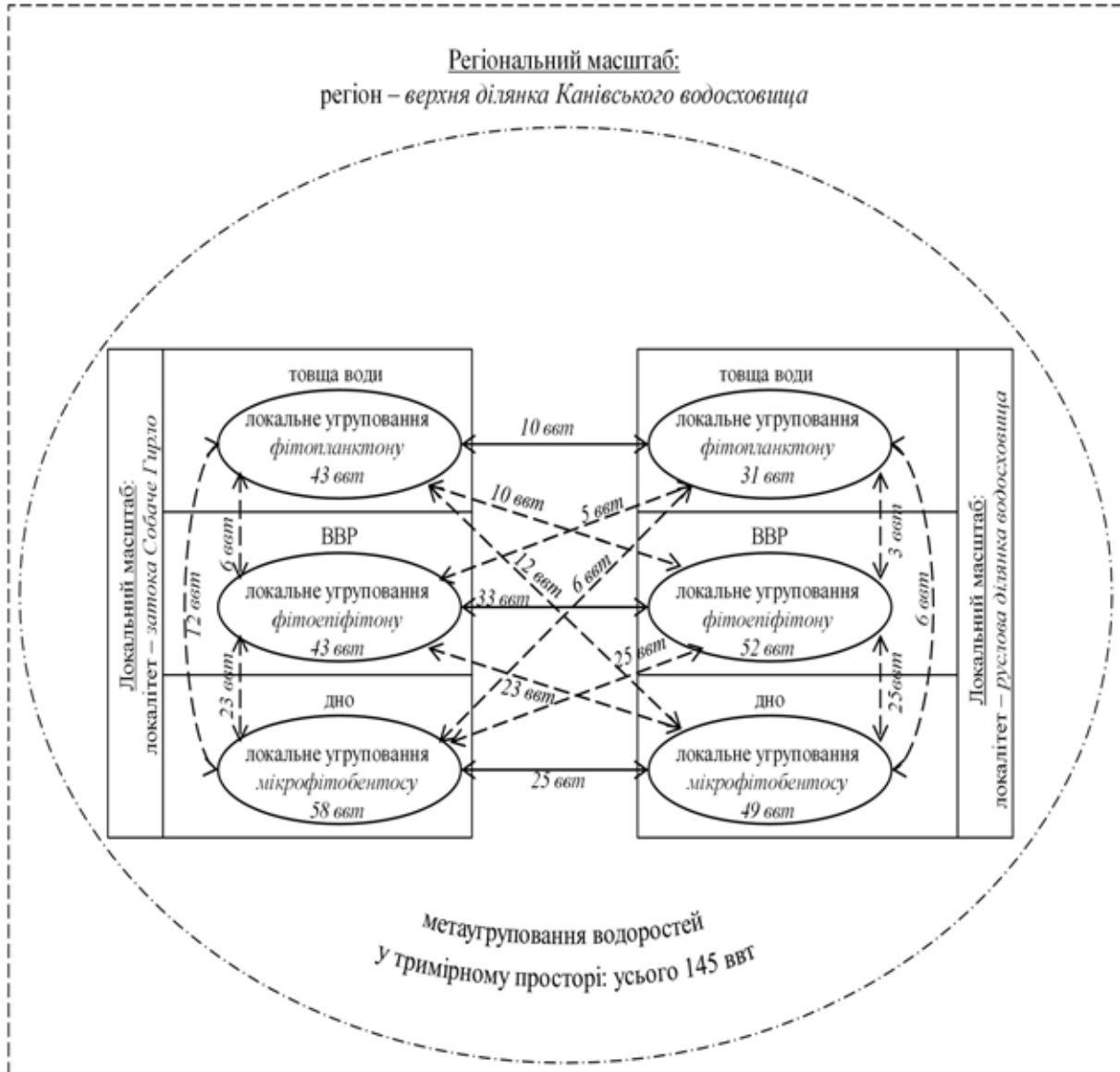


Рис. 2. Локальний і регіональний масштаби у теорії метагруповань (Leibold et al., 2004; Vanormelingen et al., 2008; Cauvy-Fraunié et al., 2015; Jamoneau et al., 2018).

Наводимо результати комплексних досліджень метагруповань фітопланктону, мікрофітобентосу, фітоепіфітону верхньої ділянки Канівського водосховища влітку 2022 р. у тримірному просторі.

*Примітка.* Стрілками показано обмін видами (суцільні – між однотипними локальними угрупованнями, пунктирні – між різнотипними локальними угрупованнями), цифри біля стрілок позначають кількість спільних (потенційно взаємодіючих) видів.

регіону пов'язані між собою спільними видами. Отже, увесь розглянутий набір локальних угруповань водоростей буде правомірно вважати метагрупованням у тривимірному просторі, яке у сукупності нараховує 145 ввт.

Тобто доведено, що різні масштаби застосування теорії метагруповань можуть успішно застосовуватись як до лентичних, так і до лотичних екосистем.

5. Вплив просторової конфігурація та сполученості локалітетів у лотичних і лентичних системах на поширення водоростей. Теорія метагруповань є потужним теоретичним підґрунтям для розуміння процесів формування різноманіття біоти у лотичних і лентичних екосистемах з різним ступенем ізольованості / сполученості. Наприклад, лотичні екосистеми досить часто представляють у вигляді деревопо-



дібної мережі водних об'єктів з різним ступенем сполученості та різною можливістю обміну живих організмів (Devercelli et al., 2016; Chararro et al., 2018; Jamoneau et al., 2018).

Для лентичних екосистем на особливу увагу заслуговує вивчення метагруповань в межах однієї водойми (де сполученість різних локалітетів є дуже високою) (Vilmi et al., 2017), а також в ізольованих водоймах у межах одного ландшафту (де в структурванні локальних угруповань основну роль відіграє обмеження в розселенні) (Soininen et al., 2007).

У якості прикладу з натурних даних розглядається просторова динаміка фітоепіфітону модельних локалітетів Київського, Канівського водосховища з прилеглими водоймами та р. Десна та оз. Вербне, які характеризуються різними гідрологічними умовами (лотичні, лотично-лентичні, лентичні).

Результати проведеного кластерного аналізу за коефіцієнтом Серенсена ( $K_{SOR}$ ) відображені у вигляді дендрограми (рис. 3). Найвищу подібність зареєстровано між угрупованнями в локалітетах, які гідрологічно сполучені та розташовані на незначній географічній відстані один від одного (менш ніж 10 км): зокрема, в районі с. Сухолуччя та острова Хільча ( $K_{SOR} = 0,67$ ); в районі с. Глібівка та с. Козаровичі ( $K_{SOR} = 0,66$ ); в районі парку Муромець і Північного мосту ( $K_{SOR} = 0,67$ ); у р. Десна та в районі парку Муромець ( $K_{SOR} = 0,61$ ).

Отримана дендрограма послідовно розділяється на такі кластери:

1. На рівні  $K_{SOR} = 0,50$  відділяється локальне угруповання фітоепіфітону озера Вербне, яке не має безпосереднього гідрологічного зв'язку з іншими водними об'єктами.

2. На рівні  $K_{SOR} = 0,57$  відділяються локальні угруповання частково ізольованих локалітетів: затока Оболонь Канівського

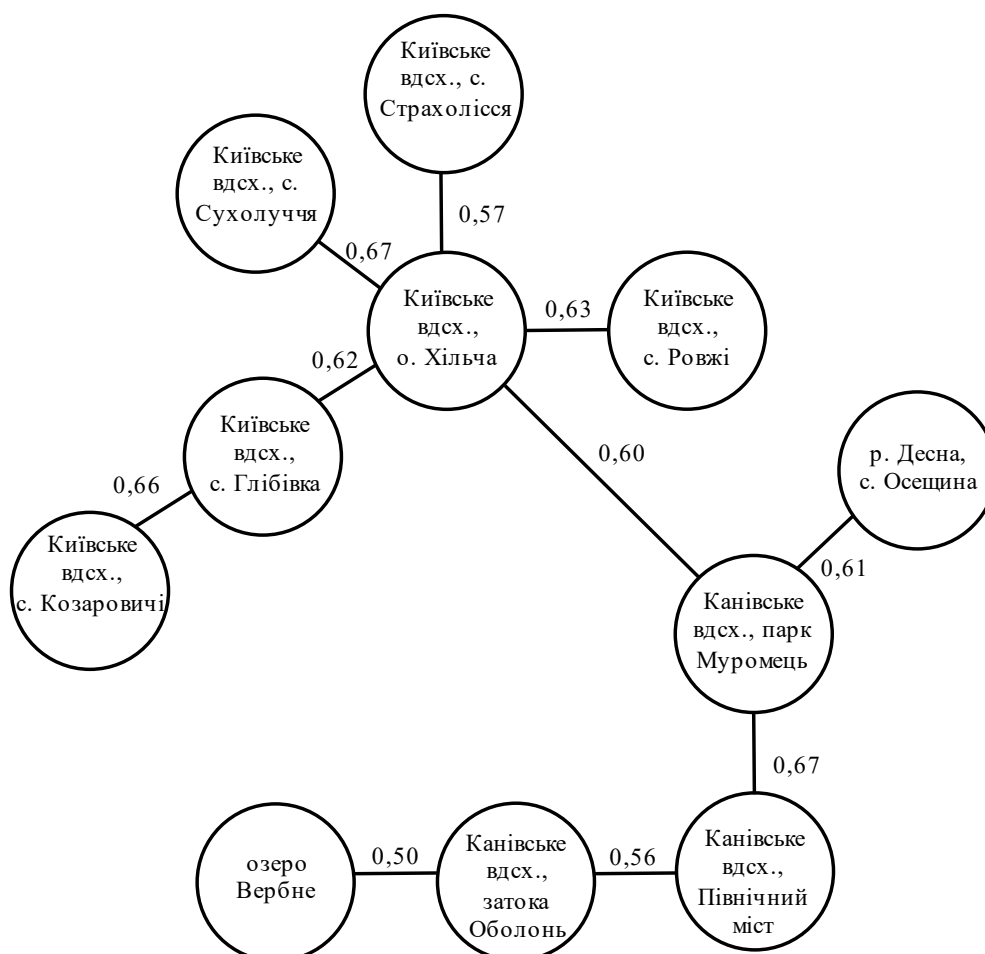


Рис. 3. Дендрограма подібності угруповань фітоепіфітону за коефіцієнтом Серенсена ( $K_{SOR}$ ) у модельних локалітетах Київського, Канівського водосховищ, р. Десна та оз. Вербне в літній сезон 2021 р.

вдсх. та ділянка Київського вдсх. в районі с. Страхолісся (фактично це Тетерівська затока).

3. На рівні  $K_{SOR} = 0,60$  дендрограма розділяється на два великі кластери: до першого входять локальні угруповання Київського водосховища, а до другого локальні угруповання Канівського водосховища та р. Десна.

Отже, ступінь подібності між локальними угрупованнями водоростей суттєво залежить від географічного розташування локалітетів та гідрологічного зв'язку між ними.

### Висновки

Таким чином, застосування основних положень теорії метаугруповань при дослідженні водоростей (планктону, бентосу, перифітону) є новим поглядом на процеси поширення, кількісного розвитку та взаємодії автотрофних організмів, оскільки зазначені процеси розглядаються в двох масштабах: локальному (під впливом детерміністичних чинників) та регіональному (під впливом стохастичних чинників).

Узагальнення вищевикладених літературних даних та власних натурних мате-

ріалів показує, що теорія метаугруповань має широкі перспективи для застосування при комплексному вивченні різноманіття водоростей континентальних водних екосистем.

До актуальних проблем дослідження водоростей в контексті теорії метаугруповань належать: дискусійне питання наявності географічних бар'єрів в розповсюдженні водоростей; зв'язок між розселенням ціанобактерій та поширенням явищ «цвітіння» води; обмін видами між планктонними та контурними водоростевими угрупованнями; вивчення водоростевих метаугруповань у тривимірному просторі; залежність процесу розселення від просторової конфігурації та сполученості локалітетів.

Розглянуті аспекти застосування теорії метаугруповань для комплексного вивчення фітопланктону, мікрофітобентосу, фітоперифітону безперечно потребують подальшої детальної розробки та можуть бути перспективними складовими фундаментальних та прикладних досліджень сучасної гідробиології.

### Список використаної літератури

Давидов О.А., Козійчук Е.Ш. Особливості формування донних альгоугруповань Київського водосховища (Україна). *Гідробиологічний журнал*. 2024. № 4. Т. 60. С. 23–34.

Мінічева Г.Г., Гаркуша О.П., Калашнік К.С., Маринець Г.В., Соколов Є.В. Реакція водоростей планктону та бентосу Чорного моря на наслідки руйнування греблі Каховського водосховища на р. Дніпро (Україна). *Альгологія*. 2024. № 2. Т. 34. С. 104–129. <https://doi.org/10.15407/alg34.02.104>.

Семенюк Н.Є. *Фітоепіфітон водних об'єктів басейну Дніпра*: Автореф. дис. ... д-ра біол. наук. Київ, 2020. 40 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., Давидов О.А., Ларіонова Д.П. Сучасна характеристика фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоепіфітону Канівського водосховища. Повідомлення 1: Таксономічне, екологічне різноманіття та просторовий розподіл. *Альгологія*. 2023а. № 3. Т. 33. С. 147–184. <https://doi.org/10.15407/alg33.03.147>.

Щербак В.І., Семенюк Н.Є., Давидов О.А., Ларіонова Д.П. Сучасна характеристика фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоепіфітону Канівського водосховища. Повідомлення 2: Абіотичні чинники, кількісне різноманіття, домінуючий комплекс, трофність та оцінка якості водного середовища. *Альгологія*. 2023b. № 4. Т. 33. С. 247–277. <https://doi.org/10.15407/alg33.04.247>.

Щербак В.І., Семенюк Н.Є., Давидов О.А., Козійчук Е.Ш. Планктонні та 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. № 2. Т. 34. С. 130–159. <https://doi.org/10.15407/alg34.02.130>.

Algarte V.M., Rodrigues L., Landeiro V.L., Siquera T., Bini L.M. Variance partitioning of deconstructed periphyton communities: does the use of biological traits matter? *Hydrobiologia*. 2014. Vol. 722. P. 279–290. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1711-6>.

Baas Becking L.G.M. *Geobiologie of inleiding tot de milieukunde*. The Hague, the Netherlands: W.P. Van Stockum & Zoon, 1934.

- Baselga A. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*. 2010. Vol. 19. P. 134–143. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00490.x>.
- Beijerinck M.W. De infusies en de ontdekking der bacteriën. *Jaarboek van de Koninklijke Akademie voor Wetenschappen*. Amsterdam, the Netherlands: Müller, 1913. (Reprinted in *Verzamelde geschriften van M.W. Beijerinck*, vijfde deel. P. 119–140. Delft, 1921).
- Benito X., Fritz S.C., Steinitz-Kannan M., Vélez M.I., McGlue M. Lake regionalization and diatom metacommunity structuring in tropical South America. *Ecology and Evolution*. 2018. Vol. 8 (16). P. 7865–7878. <https://doi.org/10.1002/ece3.4305>.
- Bortolini J.C., Pineda A., Rodrigues L.C., Jati S., Velho L.F.M. Environmental and spatial processes influencing phytoplankton biomass along a reservoir-river-floodplain lakes gradient: A meta-community approach. *Freshwater Biology*. 2017. Vol. 62 (10). P. 1756–1767. <https://doi.org/10.1111/fwb.12986>.
- Bortolini J.C., Silva P.R.L., Baumgartner G., Bueno N.C. Response to environmental, spatial, and temporal mechanisms of the phytoplankton metacommunity: comparing ecological approaches in subtropical reservoirs. *Hydrobiologia*. 2019. Vol. 830. P. 45–61. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3849-8>.
- Bottin M., Soininen J., Ferrol M., Tison-Rosebery J. Do spatial patterns of benthic diatom assemblages vary across regions and years. *Freshwater Science*. 2014. Vol. 33 (2). P. 402–416. <https://doi.org/10.1086/675726>.
- Bottin M., Soininen J., Alard D., Rosebery J. Diatom cooccurrence shows less segregation than predicted from niche modelling. *PLoS ONE*. 2016. Vol. 11 (4). P. e0154581. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154581>.
- Branco C.C.Z., Bispo P.C., Peres C.K., Tonetto A.F., Branco L.H.Z. The roles of environmental conditions and spatial factors in controlling stream macroalgal communities. *Hydrobiologia*. 2014. Vol. 732. P. 123–132. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-1852-2>.
- Budnick W.R., Mruzek J.L., Larson C.A., Passy S.I. The impact of nutrient supply and imbalance on subcontinental co-occurrence networks and metacommunity composition of stream algae. *Ecography*. 2021. Vol. 44. P. 1109–1120. <https://doi.org/10.1111/ecog.05307>.
- Cauvy-Fraunié S., Espinosa R., Andino P., Jacobsen D., Dangles O. Invertebrate metacommunity structure and dynamics in an Andean glacial stream network facing climate change. *PLoS ONE*. 2015. Vol. 10 (8). P. e0136793. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136793>.
- Černá K. Small-scale spatial variation of benthic algal assemblages in a peat bog. *Limnologia*. 2010. Vol. 40. P. 315–321. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2009.11.015>.
- Chaparro G., Horváth Z., O'Farrell I., Ptacnik R., Hein T. Plankton metacommunities in floodplain wetlands under contrasting hydrological conditions. *Freshwater Biology*. 2018. Vol. 63. P. 380–391. <https://doi.org/10.1111/fwb.13076>.
- Cobelas M.Á., Rojo C. Bridging community and metacommunity perspectives in benthic photosynthetic organisms (Serranía de Cuenca, Central Spain). *Limnetica*. 2023. Vol. 42 (1). P. 37–54. <https://doi.org/10.23818/limn.42.04>.
- De Wit R., Bouvier T. “Everything is everywhere, but, the environment selects”; what did Baas Becking and Beijerinck really say? *Environmental Microbiology*. 2006. Vol. 8 (4). P. 755–758. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2006.01017.x>.
- Devercelli M., Scarabotti P., Mayora G., Schneider B., Giri F. Unravelling the role of determinism and stochasticity in structuring the phytoplanktonic metacommunity of the Paraná River floodplain. *Hydrobiologia*. 2016. Vol. 764 (1). P. 139–156. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2363-5>.
- Finlay B.J. Global dispersal of free-living microbial eukaryote species. *Science*. 2002. Vol. 296 (5570). P. 1061–1063. <https://doi.org/10.1126/science.1070710>.
- Finlay B.J., Monaghan E.B., Maberly S.C. Hypothesis: the rate and scale of dispersal of freshwater diatom species is a function of their global abundance. *Protist*. 2002. Vol. 153 (3). P. 261–273. <https://doi.org/10.1078/1434-4610-00103>.
- Gophen M. Climate change-enhanced Cyanobacteria domination in Lake Kinneret: a retrospective overview. *Water*. 2021. Vol. 13 (2), № 163. <https://doi.org/10.3390/w13020163>.
- Hanski I., Gilpin M. Metapopulation dynamics: brief history and conceptual domain. *Biological Journal of the Linnean Society*. 1991. Vol. 42. P. 3–16. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1991.tb00548.x>.
- Heino J., Soininen J., Alahuhta J., Lappalainen J., Virtanen R. A comparative analysis of meta-community types in the freshwater realm. *Ecology and Evolution*. 2015. Vol. 5 (7). P. 1525–1537. <https://doi.org/10.1002/ece3.1460>.

- Hilt S. Regime shifts between macrophytes and phytoplankton – concepts beyond shallow lakes, unravelling stabilizing mechanisms and practical consequences. *Limnetica*. 2015. Vol. 34 (2). P. 467–480. <https://doi.org/10.23818/limn.34.35>.
- Jamoneau A., Passy S.I., Soininen J., Leboucher T., Tison-Rosebery J. Beta diversity of diatom species and ecological guilds: Response to environmental and spatial mechanisms along the stream watercourse. *Freshwater Biology*. 2018. Vol. 63. P. 62–73. <https://doi.org/10.1111/fwb.12980>.
- Jenkerson C.G., Hickman M. Interrelationships among the epipelon, epiphyton and phytoplankton in a eutrophic lake. *International Review of Hydrobiology*. 1986. Vol. 71. P. 557–579. <https://doi.org/10.1002/iroh.19860710409>.
- Jöhnk K.D., Huisman J., Sharples J., Sommeijer B., Visser P.M., Stroom J.M. Summer heatwaves promote blooms of harmful cyanobacteria. *Global Change Biology*. 2008. Vol. 14 (3). P. 495–512. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01510.x>.
- Katsiapi M., Genitsaris S., Stefanidou N., Tsavdaridou A., Giannopoulou I., Stamou G., Michaloudi E., Mazaris A.D., Moustaka-Gouni M. Ecological connectivity in two ancient lakes: impact upon planktonic Cyanobacteria and water quality. *Water*. 2020. Vol. 12. № 18. <https://doi.org/doi:10.3390/w12010018>.
- Kim M.S., Ahn S.H., Jeong I.J., Lee T.K. Water quality drives the regional patterns of an algal metacommunity in interconnected lakes. *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. № 13601. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93178-9>.
- Kosten S., Huszar V.L.M., Bécares E., Costa L.S., Van Donk E., Hansson L.-A., Jeppesen E., Kruk C., Lacerot G., Mazzeo N., De Meester L., Moss B., Lüring M., Nöges T., Romo S., Scheffer M. Warmer climate boosts cyanobacterial dominance in shallow lakes. *Global Change Biology*. 2012. Vol. 18 (1). P. 118–126. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02488.x>.
- Kristiansen J. Dispersal of freshwater algae – a review. *Hydrobiologia*. 1996. Vol. 336. P. 151–157. <https://doi.org/10.1007/BF00010829>.
- Leibold M.A., Hoyoak M., Mouquet N., Amarasekare P., Chas J.M., Hoopes M.F., Holt R.D., Shurin J.B., Law R., Tilman D., Loreau M., Gonzalez A. The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecology Letters*. 2004. Vol. 7. P. 601–613. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00608.x>.
- Machová-Černá K., Neustupa J. Spatial distribution of algal assemblages in a temperate lowland peat bog. *International Review of Hydrobiology*. 2009. Vol. 94 (1). P. 40–56. <https://doi.org/10.1002/iroh.200811058>.
- Ninio S., Lupu A., Viner-Mozzini Y., Zohary T., Sukenik A. Multiannual variations in *Microcystis* blooms episodes — Temperature drives shift in species composition. *Harmful Algae*. 2020. Vol. 92. № 101710. P. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.101710>.
- Noga T., Kochman N., Peszek Ł., Stanek-Tarkowska J., Pajaczek A. Diatoms (*Bacillariophyceae*) in rivers and streams and on cultivated soils of the Podkarpacie Region in the years 2007–2011. *Journal of Ecological Engineering*. 2014. Vol. 15 (1). P. 6–25. <https://doi.org/10.12911/22998993.1084168>.
- Noga T., Stanek-Tarkowska J., Rybak M., Kochman-Kędziara N., Peszek Ł., Pajaczek A. Diversity of diatoms in the natural, mid-forest Terebowiec Stream – Bieszczady National Park. *Journal of Ecological Engineering*. 2016. Vol. 17 (4). P. 232–247. <https://doi.org/10.12911/22998993/64506>.
- Oksiyuk O.P., Davydov O.A., Melenchuk G.V., Karpezo Yu.I. Peculiarities of phytoplankton of the Kiev section of the Kanev reservoir depending on the operating conditions of the Kiev hydro-electric power station. *Hydrobiological Journal*. 2001. Vol. 37 (2). P. 122–135. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v37.i2.120>.
- Paerl H.W., Hall N.S., Calandrino E.S. Controlling harmful cyanobacterial blooms in a world experiencing anthropogenic and climatic-induced change. *Science of the Total Environment*. 2011. Vol. 409. P. 1739–1745. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.02.001>.
- Passy S.I., Pan Y., Lowe R.L. Ecology of the major periphytic diatom communities from the Mesta River, Bulgaria. *International Review of Hydrobiology*. 1999. Vol. 84. P. 129–174. <https://doi.org/10.1002/iroh.199900017>.
- Passy S.I. Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters. *Aquatic Botany*. 2007. Vol. 86. P. 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2006.09.018>.
- Passy S.I. The relationship between local and regional diatom richness is mediated by the local and regional environment. *Global Ecology and Biogeography*. 2009. Vol. 18. P. 383–391. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00453.x>.

- Pätynen A., Elliott J.A., Kiuru P., Sarvala J., Ventelä A.-M., Jones R.I. Modelling the impact of higher temperature on the phytoplankton of a boreal lake. *Boreal Environmental Research*. 2014. Vol. 19 (1). P. 66–78.
- Ptacnik R., Andersen T., Brettm P., Lepisto L., Willén E. Regional species pools control community saturation in lake phytoplankton. *Proceedings of the Royal Society*. 2010. Vol. 277. P. 3755–3764. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.1158>.
- Rasconi S., Gall A., Winter K., Kainz M.J. Increasing water temperature triggers dominance of small freshwater plankton. *PLOS ONE*. 2015. Vol. 10 (10). № e0140449. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140449>.
- Rollwagen-Bollens G., Lee T., Rose V., Bollens S.M. Beyond Eutrophication: Vancouver Lake, WA, USA as a model system for assessing multiple, interacting biotic and abiotic drivers of harmful Cyanobacterial blooms. *Water*. 2018. Vol. 10 (6). № 757. P. 1–29. <https://doi.org/10.3390/w10060757>.
- Shcherbak V.I. Response of phytoplankton of the Kiev Reservoir to the increase in summer temperatures. *Hydrobiological Journal*. 2019. Vol. 55 (1). P. 18–35. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v55.i1.20>.
- Shcherbak V.I., Semenyuk N.Ye., Yakushyn V.M. Phytoplankton structural and functional organization in a large lowland reservoir under the global climate change (case study of the Kaniv Reservoir). *Hydrobiological Journal*. 2022. Vol. 58. № 6. P. 3–27. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v58.i6.10>.
- Shcherbak V.I., Semenyuk N.Ye., Maistrova N.V. Characteristics of Cyanobacteria at different stages of existence of the Kyiv Reservoir. *Hydrobiological Journal*. 2024. Vol. 60 (1). P. 3–27. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v60.i1.10>.
- Soininen J., McDonald R., Hillebrand H. The distance decay of similarity in ecological communities. *Ecography*. 2007. Vol. 30. P. 3–12. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04817.x>.
- Soininen J., Jamoneau A., Rosebery J., Passy S.I. Global patterns and drivers of species and trait composition in diatoms. *Global Ecology and Biogeography*. 2016. Vol. 25 (8). P. 940–950. <https://doi.org/10.1111/geb.12452>.
- Sørensen T. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analyses of the vegetation of Danish commons. *Kongelige Danske Videnskaberne Selskab Biologiske Skrifter*. 1948. Vol. 5 (4). P. 1–46.
- Srednick G., Cohen A., Diehl O., Tyler K., Swearer S.E. Habitat attributes mediate herbivory and influence community development in algal metacommunities. *Ecology*. 2023. Vol. 104 (4). P. e3976. <https://doi.org/10.1002/ecy.3976>.
- Sukenik A., Quesada A., Salmaso N. Global expansion of toxic and non-toxic cyanobacteria: effect on ecosystem functioning. *Biodiversity Conservation*. 2015. Vol. 24. P. 889–908. <https://doi.org/10.1007/s10531-015-0905-9>.
- Vanormelingen P., Cottenie K., Michels E., Muylaert K., Vyverman W., De Meester L. The relative importance of dispersal and local process in structuring phytoplankton communities in a set of highly interconnected ponds. *Freshwater Biology*. 2008. Vol. 53. P. 2170–2183. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.02040.x>.
- Vilmi A., Tolonen K.T., Karjalainen S.M., Heino J. Metacommunity structuring in a highly-connected aquatic system: effects of dispersal, abiotic environment and grazing pressure on microalgal guilds. *Hydrobiologia*. 2017. Vol. 790. P. 125–140. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-3024-z>.
- Wilson D.S. Complex interactions in metacommunities, with implications for biodiversity and higher levels of selection. *Ecology*. 1992. Vol. 73 (6). P. 1984–2000. <https://doi.org/10.2307/1941449>
- Zalat A.A., Nitychoruk J., Chodyka M., Pidek I.A., Welc F. *Recent and Fossil Freshwater Diatoms from Poland: Taxonomy, Distribution and their Significance in the Environmental Reconstruction. Part 1. Coscinodiscophyceae, Mediophyceae and Fragilariaceae*. Biała Podlaska: John Paul II University of Applied Sciences in Biała Podlaska, 2022. 304 p.
- Zadorozhna H., Semeniuk N., Shcherbak V. Interaction between phytoplankton and epiphytic algae in the Kaniv Water Reservoir (Ukraine). *International Letters of Natural Sciences*. 2017. Vol. 61. P. 56–68. <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ILNS.61.56>.

## References

- Davydov, O.A., & Koziichuk, E.Sh. (2024). Osoblyvosti formuvannia donnykh alouhropovan Kyivskoho vodoskhovyshcha (Ukraine) [Bottom algal communities development patterns in Kyiv Reservoir (Ukraine)]. *Hidrobiologichnyi zhurnal [Hydrobiological Journal]*, 60 (4), 23–34 [in Ukrainian].

- Minicheva, H.H., Harkusha, O.P., Kalashnik, K.S., Marynets, H.V., & Sokolov, Ye.V. (2024). Reaktsiia vodorostei planktonu ta bentosu Chornoho moria na naslidky ruinovannia hrebli Kakhovskoho vodoshkovyshcha na r. Dnipro (Ukraina) [Reaction of planktonic and benthic algae in the Black Sea to the consequences of the destruction of the Kakhovska Reservoir dam on the Dnipro River (Ukraine)]. *Alholohiia [Algologia]*, 34 (2), 104–129. <https://doi.org/10.15407/alg34.02.104> [in Ukrainian].
- Semeniuk, N.Ye. (2020). *Fitoepifiton vodnykh ob'ektiv baseinu Dnipra [Epiphytic algal communities of the Dnieper basin waterbodies]*: Avtoref. dys. ... d-ra biol. nauk [Dr. Sci. (Biol.) Abstract] [in Ukrainian].
- Topachevskiy, O.V., & Oksiuk, O.P. (1960). *Diatomovi vodorosti – Bacillariophyta. Vyznachnyk prysnovodnykh vodorostei Ukrainskoi RSR [Diatoms – Bacillariophyta. Identification guide on freshwater algae of Ukrainian SSR]*. Naukova dumka, 9 [in Ukrainian].
- Shcherbak, V.I., Semeniuk, N.Ye., Davydov, O.A., & Larionova, D.P. (2023a). Suchasna kharakterystyka fitoplanktonu, mikrofitobentosu ta fitoepifitonu Kanivskoho vodoshkovyshcha. Povidomlennia 1: Taksonomichne, ekolohichne riznomanittia ta prostorovi 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., Semeniuk, N.Ye., Davydov, O.A., & Larionova, D.P. (2023b). Suchasna kharakterystyka fitoplanktonu, mikrofitobentosu ta fitoepifitonu Kanivskoho vodoshkovyshcha. Povidomlennia 2: Abiotychni chynnyky, kilkisne riznomanittia, dominuiuchy kompleks, trofnist ta otsinka yakosti vodnoho seredovyshcha [Present-day characteristics of phytoplankton, microphytobenthos and phytoepiphyton of the Kaniv Reservoir. Report 2: Abiotic variables, quantitative diversity, dominant species complex, trophic state, water quality]. *Alholohiia [Algologia]*, 33 (4), 247–277. <https://doi.org/10.15407/alg33.04.247> [in Ukrainian].
- Shcherbak, V.I., Semeniuk, N.Ye., Davydov, O.A., & Koziichuk E.Sh. (2024). Planktonni ta konturni uhrupovannia vodorostei ukrainskoi dilianky r. Zakhidnyi Buh ta yii doplyviv. Povidomlennia 1. Abiotychni skladovi, taksonomichna y ekolohichna kharakterystyky 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, phytoepiphyton]. *Alholohiia [Algologia]*, 34 (2), 130–159. <https://doi.org/10.15407/alg34.02.130> [in Ukrainian].
- Algarte, V.M., Rodrigues, L., Landeiro, V.L., Siquera, T., & Bini, L.M. (2014). Variance partitioning of deconstructed periphyton communities: does the use of biological traits matter? *Hydrobiologia*, 722, 279–290. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1711-6> [in English].
- Baas Becking, L.G.M. (1934). *Geobiologie of inleiding tot de milieukunde*. W.P. Van Stockum & Zoon [in Dutch].
- Baselga, A. (2010). Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 19, 134–143. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00490.x> [in English].
- Beijerinck, M.W. (1913). De infusies en de ontdekking der bacteriën. *Jaarboek van de Koninklijke Akademie voor Wetenschappen*. Müller [in Dutch].
- Benito, X., Fritz, S.C., Steinitz-Kannan, M., Vélez, M.I., & McGlue, M. (2018). Lake regionalization and diatom metacommunity structuring in tropical South America. *Ecology and Evolution*, 8 (16), 7865–7878. <https://doi.org/10.1002/ece3.4305> [in English].
- Bortolini, J.C., Pineda, A., Rodrigues, L.C., Jati, S., & Velho, L.F.M. (2017). Environmental and spatial processes influencing phytoplankton biomass along a reservoir-river-floodplain lakes gradient: A metacommunity approach. *Freshwater Biology*, 62 (10), 1756–1767. <https://doi.org/10.1111/fwb.12986> [in English].
- Bortolini, J.C., Silva, P.R.L., Baumgartner, G., & Bueno, N.C. (2019). Response to environmental, spatial, and temporal mechanisms of the phytoplankton metacommunity: comparing ecological approaches in subtropical reservoirs. *Hydrobiologia*, 830, 45–61. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3849-8> [in English].
- Bottin, M., Soininen, J., Ferrol, M., & Tison-Rosebery, J. (2014). Do spatial patterns of benthic diatom assemblages vary across regions and years. *Freshwater Science*, 33 (2), 402–416. <https://doi.org/10.1086/675726> [in English].

- Bottin, M., Soininen, J., Alard, D., & Rosebery, J. (2016). Diatom cooccurrence shows less segregation than predicted from niche modelling. *PLoS ONE*, 11 (4), e0154581. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154581> [in English].
- Branco, C.C.Z., Bispo, P.C., Peres, C.K., Tonetto, A.F., & Branco, L.H.Z. (2014). The roles of environmental conditions and spatial factors in controlling stream macroalgal communities. *Hydrobiologia*, 732, 123–132. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-1852-2> [in English].
- Budnick, W.R., Mruzek, J.L., Larson, C.A., & Passy, S.I. (2021). The impact of nutrient supply and imbalance on subcontinental co-occurrence networks and metacommunity composition of stream algae. *Ecography*, 44, 1109–1120. <https://doi.org/10.1111/ecog.05307> [in English].
- Cauvy-Fraunié, S., Espinosa, R., Andino, P., Jacobsen, D., & Dangles, O. (2015). Invertebrate metacommunity structure and dynamics in an Andean glacial stream network facing climate change. *PLoS ONE*, 10 (8), e0136793. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136793> [in English].
- Černá, K. (2010). Small-scale spatial variation of benthic algal assemblages in a peat bog. *Limnologia*, 40, 315–321. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2009.11.015> [in English].
- Chaparro, G., Horváth, Z., O'Farrell, I., Ptacnik, R., & Hein, T. (2018). Plankton metacommunities in floodplain wetlands under contrasting hydrological conditions. *Freshwater Biology*, 63, 380–391. <https://doi.org/10.1111/fwb.13076> [in English].
- Cobelas, M.Á., & Rojo, C. (2023). Bridging community and metacommunity perspectives in benthic photosynthetic organisms (Serranía de Cuenca, Central Spain). *Limnetica*, 42 (1), 37–54. <https://doi.org/10.23818/limn.42.04> [in English].
- De Wit, R., & Bouvier, T. (2006). “Everything is everywhere, but, the environment selects”; what did Baas Becking and Beijerinck really say? *Environmental Microbiology*, 8 (4), 755–758. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2006.01017.x> [in English].
- Devercelli, M., Scarabotti, P., Mayora, G., Schneider, B., & Giri, F. (2016). Unravelling the role of determinism and stochasticity in structuring the phytoplanktonic metacommunity of the Paraná River floodplain. *Hydrobiologia*, 764 (1), 139–156. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2363-5> [in English].
- Finlay, B.J. (2002). Global dispersal of free-living microbial eukaryote species. *Science*, 296 (5570), 1061–1063. <https://doi.org/10.1126/science.1070710> [in English].
- Finlay, B.J., Monaghan, E.B., & Maberly, S.C. (2002). Hypothesis: the rate and scale of dispersal of freshwater diatom species is a function of their global abundance. *Protist*, 153 (3), 261–273. <https://doi.org/10.1078/1434-4610-00103> [in English].
- Gophen, M. (2021). Climate change-enhanced Cyanobacteria domination in Lake Kinneret: a retrospective overview. *Water*, 13 (2), 163. <https://doi.org/10.3390/w13020163> [in English].
- Hanski, I., & Gilpin, M. (1991). Metapopulation dynamics: brief history and conceptual domain. *Biological Journal of the Linnean Society*, 42, 3–16. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1991.tb00548.x> [in English].
- Heino, J., Soininen, J., Alahuhta, J., Lappalainen, J., & Virtanen, R. (2015). A comparative analysis of metacommunity types in the freshwater realm. *Ecology and Evolution*, 5 (7), 1525–1537. <https://doi.org/10.1002/ece3.1460> [in English].
- Hilt, S. (2015). Regime shifts between macrophytes and phytoplankton – concepts beyond shallow lakes, unravelling stabilizing mechanisms and practical consequences. *Limnetica*, 34 (2), 467–480. <https://doi.org/10.23818/limn.34.35> [in English].
- Jamoneau, A., Passy, S.I., Soininen, J., Lebourcier, T., & Tison-Rosebery, J. (2018). Beta diversity of diatom species and ecological guilds: Response to environmental and spatial mechanisms along the stream watercourse. *Freshwater Biology*, 63, 62–73. <https://doi.org/10.1111/fwb.12980> [in English].
- Jenkerson, C.G., & Hickman, M. (1986). Interrelationships among the epipelon, epiphyton and phytoplankton in a eutrophic lake. *International Review of Hydrobiology*, 71, 557–579. <https://doi.org/10.1002/iroh.19860710409> [in English].
- Jöhnk, K.D., Huisman, J., Sharples, J., Sommeijer, B., Visser, P.M., & Stroom, J.M. (2008). Summer heatwaves promote blooms of harmful cyanobacteria. *Global Change Biology*, 14 (3), 495–512. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01510.x> [in English].
- Katsiapi, M., Genitsaris, S., Stefanidou, N., Tsavdaridou, A., Giannopoulou, I., Stamou, G., Michaloudi, E., Mazaris, A.D., & Moustaka-Gouni, M. (2020). Ecological connectivity in two ancient lakes: impact upon planktonic Cyanobacteria and water quality. *Water*, 12, 18. <https://doi.org/10.3390/w12010018> [in English].

- Kim, M.S., Ahn, S.H., Jeong, I.J., & Lee, T.K. (2021). Water quality drives the regional patterns of an algal metacommunity in interconnected lakes. *Scientific Reports*, 11, 13601. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93178-9> [in English].
- Kosten, S., Huszar, V.L.M., Bécares, E., Costa, L.S., Van Donk, E., Hansson, L.-A., Jeppesen, E., Kruk, C., Lacerot, G., Mazzeo, N., De Meester, L., Moss, B., Lürling, M., Nöges, T., Romo, S., & Scheffer, M. (2012). Warmer climate boosts cyanobacterial dominance in shallow lakes. *Global Change Biology*, 18 (1), 118–126. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02488.x> [in English].
- Kristiansen, J. (1996). Dispersal of freshwater algae – a review. *Hydrobiologia*, 336, 151–157. <https://doi.org/10.1007/BF00010829> [in English].
- Leibold, M.A., Hoyoak, M., Mouquet, N., Amarasekare, P., Chas, J.M., Hoopes, M.F., Holt, R.D., Shurin, J.B., Law, R., Tilman, D., Loreau, M., & Gonzalez, A. (2004). The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecology Letters*, 7, 601–613. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00608.x> [in English].
- Machová-Černá, K., & Neustupa, J. (2009). Spatial distribution of algal assemblages in a temperate lowland peat bog. *International Review of Hydrobiology*, 94 (1), 40–56. <https://doi.org/10.1002/iroh.200811058> [in English].
- Ninio, S., Lupu, A., Viner-Mozzini, Y., Zohary, T., & Sukenik, A. (2020). Multiannual variations in *Microcystis* blooms episodes – Temperature drives shift in species composition. *Harmful Algae*, 92, 101710, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.101710> [in English].
- Noga, T., Kochman, N., Peszek, Ł., Stanek-Tarkowska, J., & Pajaczek, A. (2014). Diatoms (*Bacillariophyceae*) in rivers and streams and on cultivated soils of the Podkarpacie Region in the years 2007–2011. *Journal of Ecological Engineering*, 15 (1), 6–25. <https://doi.org/10.12911/22998993.1084168> [in English].
- Noga, T., Stanek-Tarkowska, J., Rybak, M., Kochman-Kędziora, N., Peszek, Ł., & Pajaczek, A. (2016). Diversity of diatoms in the natural, mid-forest Terebowiec Stream – Bieszczady National Park. *Journal of Ecological Engineering*, 17 (4), 232–247. <https://doi.org/10.12911/22998993/64506> [in English].
- Oksiyuk, O.P., Davydov, O.A., Melenchuk, G.V., & Karpezo, Yu.I. (2001). Peculiarities of phytoplankton of the Kiev section of the Kanev reservoir depending on the operating conditions of the Kiev hydro-electric power station. *Hydrobiological Journal*, 37 (2), 122–135. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v37.i2.120> [in English].
- Paerl, H.W., Hall, N.S., & Calandrino, E.S. (2011). Controlling harmful cyanobacterial blooms in a world experiencing anthropogenic and climatic-induced change. *Science of the Total Environment*, 409, 1739–1745. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.02.001> [in English].
- Passy, S.I., Pan, Y., & Lowe, R.L. (1999). Ecology of the major periphytic diatom communities from the Mesta River, Bulgaria. *International Review of Hydrobiology*, 84, 129–174. <https://doi.org/10.1002/iroh.199900017> [in English].
- Passy, S.I. (2007). Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters. *Aquatic Botany*, 86, 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2006.09.018> [in English].
- Passy, S.I. (2009). The relationship between local and regional diatom richness is mediated by the local and regional environment. *Global Ecology and Biogeography*, 18, 383–391. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00453.x> [in English].
- Pätynen, A., Elliott, J.A., Kiuru, P., Sarvala, J., Ventelä, A.-M., & Jones, R.I. (2014). Modelling the impact of higher temperature on the phytoplankton of a boreal lake. *Boreal Environmental Research*, 19 (1), 66–78 [in English].
- Ptácnik, R., Andersen, T., Brett, P., Lepistö, L., & Willén, E. (2010). Regional species pools control community saturation in lake phytoplankton. *Proceedings of the Royal Society*, 277, 3755–3764. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.1158> [in English].
- Rasconi, S., Gall, A., Winter, K., & Kainz, M.J. (2015). Increasing water temperature triggers dominance of small freshwater plankton. *PLOS ONE*, 10 (10), e0140449. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140449> [in English].
- Rollwagen-Bollens, G., Lee, T., Rose, V., & Bollens, S.M. (2018). Beyond Eutrophication: Vancouver Lake, WA, USA as a model system for assessing multiple, interacting biotic and abiotic drivers of harmful Cyanobacterial blooms. *Water*, 10 (6), 757, 1–29. <https://doi.org/10.3390/w10060757> [in English].



Shcherbak, V.I. (2019). Response of phytoplankton of the Kiev Reservoir to the increase in summer temperatures. *Hydrobiological Journal*, 55 (1), 18–35. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v55.i1.20> [in English].

Shcherbak, V.I., Semenyuk, N.Ye., & Yakushyn, V.M. (2022). Phytoplankton structural and functional organization in a large lowland reservoir under the global climate change (case study of the Kaniv Reservoir). *Hydrobiological Journal*, 58 (6), 3–27. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v58.i6.10> [in English].

Shcherbak, V.I., Semenyuk N.Ye., & Maystrova N.V. (2024). Characteristics of Cyanobacteria at different stages of existence of the Kyiv Reservoir. *Hydrobiological Journal*, 60 (1), 3–27. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v60.i1.10> [in English].

Soininen, J., McDonald, R., & Hillebrand, H. (2007). The distance decay of similarity in ecological communities. *Ecography*, 30, 3–12. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04817.x> [in English].

Soininen, J., Jamoneau, A., Rosebery, J., & Passy, S.I. (2016). Global patterns and drivers of species and trait composition in diatoms. *Global Ecology and Biogeography*, 25 (8), 940–950. <https://doi.org/10.1111/geb.12452> [in English].

Sørensen, T. (1948). A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analyses of the vegetation of Danish commons. *Kongelige Danske Videnskaberne Selskab Biologiske Skrifter*, 5 (4), 1–46 [in English].

Srednick, G., Cohen, A., Diehl, O., Tyler, K., & Swearer, S.E. (2023). Habitat attributes mediate herbivory and influence community development in algal metacommunities. *Ecology*, 104 (4), e3976. <https://doi.org/10.1002/ecy.3976> [in English].

Sukenik, A., Quesada, A., & Salmaso, N. (2015). Global expansion of toxic and non-toxic cyanobacteria: effect on ecosystem functioning. *Biodiversity Conservation*, 24, 889–908. <https://doi.org/10.1007/s10531-015-0905-9> [in English].

Vanormelingen, P., Cottenie, K., Michels, E., Muylaert, K., Vyverman, W., & De Meester, L. (2008). The relative importance of dispersal and local process in structuring phytoplankton communities in a set of highly interconnected ponds. *Freshwater Biology*, 53, 2170–2183. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.02040.x> [in English].

Vilmi, A., Tolonen, K.T., Karjalainen S.M., & Heino J. (2017). Metacommunity structuring in a highly-connected aquatic system: effects of dispersal, abiotic environment and grazing pressure on microalgal guilds. *Hydrobiologia*, 790, 125–140. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-3024-z> [in English].

Wilson, D.S. (1992). Complex interactions in metacommunities, with implications for biodiversity and higher levels of selection. *Ecology*, 73 (6), 1984–2000. <https://doi.org/10.2307/1941449> [in English].

Zalat, A.A., Nitychoruk, J., Chodyka, M., Pidek, I.A., & Welc, F. (2022). *Recent and Fossil Freshwater Diatoms from Poland: Taxonomy, Distribution and their Significance in the Environmental Reconstruction. Part 1. Coscinodiscophyceae, Mediophyceae and Fragilariaceae*. John Paul II University of Applied Sciences in Biała Podlaska [in English].

Zadorozhna, H., Semeniuk, N., & Shcherbak, V. (2017). Interaction between phytoplankton and epiphytic algae in the Kaniv Water Reservoir (Ukraine). *International Letters of Natural Sciences*, 61, 56–68. <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ILNS.61.56> [in English].

Отримано: 02.08.2024  
Прийнято: 26.08.2024



## ГЕОГРАФІЯ

УДК 911:712.253(477.82):379.8  
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.7>

### ПАРКИ-ПАМ'ЯТКИ САДОВО-ПАРКОВОГО МИСТЕЦТВА ЛУЦЬКОГО РАЙОНУ ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЯК ОБ'ЄКТИ РЕКРЕАЦІЇ

Т. П. Безсмертнюк<sup>1</sup>

Важливе місце серед категорій природно-заповідного фонду у структурі рекреаційного природокористування належить паркам-пам'яткам садово-паркового мистецтва. Значенню та ролі парків-пам'яток садово-паркового мистецтва як загальнодержавного, так і місцевого значення в розвитку рекреаційної діяльності приділяється значно менше уваги у порівнянні з національними природними та регіональними ландшафтними парками. Метою дослідження є визначення особливостей розвитку рекреаційної діяльності в межах парків-пам'яток садово-паркового мистецтва Луцького району Волинської області. Для досягнення поставленої мети використовувалися такі методи дослідження, як аналіз, синтез, індукція, дедукція, описовий, картографічний, структурно-логічного узагальнення, систематизація. У статті досліджено парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва Луцького району Волинської області як об'єкти рекреації. До об'єктів природно-заповідного фонду Луцького району відносяться 6 парків-пам'яток садово-паркового мистецтва загальною площею 44,1 га, серед яких лише один загальнодержавного значення. Охарактеризовано парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва Луцького району.

Визначено проблеми розвитку рекреаційної діяльності в межах парків-пам'яток садово-паркового мистецтва району. Окреслено перспективи рекреаційно-туристичного використання парків-пам'яток садово-паркового мистецтва Луцького району. Розроблено туристичний екомаршрут територією парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва «Байрак». Потенціал для розвитку туризму в межах парків-пам'яток садово-паркового мистецтва Луцького району Волинської області є значним, а реалізація можливостей їх рекреаційного використання сприятиме загальному соціально-економічному розвитку району. Наукова новизна результатів дослідження полягає у визначенні особливостей функціонування парків-пам'яток садово-паркового мистецтва Луцького району як об'єктів рекреаційно-туристської діяльності. Практична значущість результатів дослідження полягає у обґрунтуванні рекомендацій щодо рекреаційного використання парків-пам'яток садово-паркового мистецтва Луцького району Волинської області.

**Ключові слова:** природно-заповідний фонд, парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва, Луцький район, Волинська область, рекреація, туризм, рекреаційно-туристична діяльність.

<sup>1</sup> кандидат географічних наук, доцент,  
доцент кафедри туризму та готельного господарства  
(Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк)  
e-mail: beztaras@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-1580-6157

## PARKS-MONUMENTS OF LANDSCAPE GARDENING ART IN THE LUTSK DISTRICT OF THE VOLYN REGION AS RECREATIONAL OBJECTS

T. P. Bezsmertniuk

*An important place among the categories of the nature reserve fund in the structure of recreational nature management belongs to parks-monuments of landscape gardening art. The significance and role of parks-monuments of landscape gardening art of both national and local importance in the development of recreational activities is paid much less attention compared to national natural and regional landscape parks. The study aims to determine the peculiarities of the development of recreational activities within the parks-monuments of landscape gardening art in the Lutsk district of the Volyn region. To achieve this goal, the following research methods were used: analysis, synthesis, induction, deduction, descriptive, cartographic, structural and logical generalization, and systematization. The article examines parks-monuments of landscape gardening art in the Lutsk district of Volyn region.*

*The objects of the nature reserve fund of Lutsk district include 6 parks-monuments of landscape gardening art with a total area of 44.1 hectares, among which only one is of national importance. The parks-monuments of landscape gardening art of the Lutsk district are characterized as valuable recreational objects. The problems of development of recreational activities within the parks-monuments of landscape gardening art of the district are determined. Prospects for the recreational and tourist use of parks-monuments of landscape gardening art of Lutsk district are outlined. A tourist eco-route was developed through the territory of the Bayrak Park, a monument of landscape gardening art. The potential for tourism development within the parks-monuments of landscape gardening art in the Lutsk district of Volyn region is significant, and the realization of the possibilities of their recreational use will contribute to the overall socio-economic development of the district. The scientific novelty of the research results is to determine the peculiarities of the functioning of parks-monuments of landscape gardening art in Lutsk district as objects of recreational and tourist activity. The practical significance of the research results is substantiating recommendations for the recreational use of parks-monuments of landscape gardening art in the Lutsk district of Volyn region.*

**Key words:** nature reserve fund, park-monument of landscape gardening art, Lutsk district, Volyn region, recreation, tourism, recreational and tourist activity.

### Вступ

Рекреаційний потенціал природно-заповідного фонду (ПЗФ) України створює унікальні перспективи для розвитку високоефективної рекреаційної діяльності, тому актуальним постає питання оцінювання можливостей використання природоохоронних територій та об'єктів різного рівня та статусу в туризмі. Важливе місце серед категорій ПЗФ у структурі рекреаційного природокористування належить паркам-пам'яткам садово-паркового мистецтва (ППСПМ) загальнодержавного значення, які згідно з чинним законодавством (Про природно-заповідний фонд України, 1992), подібно національним природним та регіональним ландшафтним паркам, є природоохоронними рекреаційними установами. Проте значенню та ролі ППСПМ не лише загальнодержавного, але й місцевого значення в розвитку рекреаційної діяльності приділяється значно менше уваги, в тому числі й на регіональному рівні.

Дослідженню територій та об'єктів природно-заповідного фонду, розвитку

в їх межах рекреаційної діяльності, використання природоохоронних територій в туризмі присвячено низку наукових праць (Безсмертнюк і Мельничук, 2018; Мельник і Чир, 2019; Melnychenko et al., 2021; Шовкун та ін., 2022; Habchak & Dubis, 2022; Kucher et al., 2023; Uliganets et al., 2023).

Аналізу рекреаційної складової діяльності ППСПМ в регіонах присвячено публікації низки науковців (Кравцова, 2012; Кілінська та ін., 2013; Беляєва, 2014; Аріон і Виноградова, 2015; Литвак, 2016; Мельничук і Безсмертнюк, 2018; Вишневіська і Булгакова, 2020). Репрезентативність у Волинській області штучно створених об'єктів природно-заповідного фонду – парків-пам'яток садово-паркового мистецтва, досліджено у спільній публікації Боярин М. В., Волошина В. У. та Цьось О. О. (Боярин та ін., 2020). Рекреаційний потенціал ППСПМ на матеріалах Володимирського району Волинської області досліджував колектив авторів (Єрко та ін., 2024). Водночас питання вивчення ППСПМ Луцького району Волинської області в аспекті рекреаційного використання висвітлені недостатньо.

Метою дослідження є визначення особливостей розвитку рекреаційної діяльності в межах парків-пам'яток садово-паркового мистецтва Луцького району Волинської області. Для досягнення цілей мети були поставлені наступні завдання: охарактеризувати парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва Луцького району; визначити проблеми розвитку рекреаційної діяльності в межах ППСМ району; окреслити перспективи рекреаційно-туристичного використання парків-пам'яток садово-паркового мистецтва Луцького району; розробити туристичний екомаршрут територією ППСМ «Байрак».

### **Матеріал і методи**

Для реалізації мети дослідження використовувалися матеріали Управління екології та природних ресурсів Волинської обласної державної адміністрації, законодавчих й нормативно-правових актів, зокрема Закону України «Про природно-заповідний фонд України» (1992) та «Положення про рекреаційну діяльність у межах територій та об'єктів природно-заповідного фонду України», положення про парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва району. Для досягнення поставленої мети використовувалися такі методи дослідження, як аналіз, синтез, індукція, дедукція, описовий, картографічний, структурно-логічного узагальнення, систематизація. Як технологічний базис для створення картосхем використовувалися картографічні дані «Google Earth», «Google maps», «ArcGIS Online» та графічний редактор Adobe Photoshop CC 2018.

### **Результати та їх обговорення**

Парками-пам'ятками садово-паркового мистецтва оголошуються найбільш визначні та цінні зразки паркового будівництва з метою їх охорони і використання в естетичних, виховних, наукових, природоохоронних та оздоровчих цілях. Оголошення ППСМ провадиться з вилученням у встановленому порядку або без вилучення земельних ділянок, водних та інших природних об'єктів у їх власників або користувачів. На території ППСМ можуть проводитися наукові дослідження, забороняється будь-яка діяльність, що не пов'язана з виконанням покладених на них завдань і загрожує їх збереженню (Про природно-заповідний ..., 1992). У межах територій заповідних парків забезпечуються природоохоронні, естетичні та рекреаційні функції.

Парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва мають значний вплив на суспільне

та культурне життя як окремого регіону, так і країни в цілому. Ці парки володіють значною цінністю у сферах естетики, історії, ландшафтної архітектури, ботаніки і дендрології, а також мають велике культурне значення та підлягають охороні державою. Крім того, садово-паркові ландшафти є втіленням минулих років і навіть століть, зберігаючи пам'ять про своїх колишніх власників і до сьогодні (Арїон і Виноградова, 2015). Парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва являють собою не лише твори мистецтва, але й особливий вираз філософських поглядів та відношення людини до природи. Завдяки своїм унікальним особливостям, які обумовлені історичними, політичними, соціально-економічними, культурними, природними, релігійними, естетичними та іншими контекстами і засобами впливу, кожен різновид садово-паркового мистецтва може виявляти характерні ознаки (Беляєва, 2014).

Згідно з законодавством, в межах ППСМ забезпечуються проведення екскурсій та масовий відпочинок населення (Про природно-заповідний фонд України, 1992). Дозвілля у ППСМ виконує низку функцій: екологічну, рекреативну, комунікативну, культурно-просвітницьку, виховну. Термін «паркове дозвілля» означає сукупність занять, до яких звертається особистість у вільний час задля відпочинку, розвитку свого інтелекту, розваг та соціальної самореалізації в межах природного середовища. Функції дозвілля в умовах ППСМ поділяють на 2 основні напрями – рекреативну та духовну діяльність. Остання пов'язана з розвитком духовності людини, її потенціалу, а також з освоєнням загальних людських цінностей, які паркова культура накопичує в собі, і найбільш суттєве – формуванням духовних цінностей особистістю (Ключко та ін., 2004).

Розглянемо забезпечення Луцького району Волинської області парками-пам'ятками садово-паркового мистецтва як складової природно-антропогенних рекреаційно-туристських ресурсів. За даними Управління екології та природних ресурсів Волинської обласної державної адміністрації на території району налічується 6 парків-пам'яток садово-паркового мистецтва (табл. 1) загальною площею 44,1 га, серед яких п'ять мають місцеве значення, один – загальнодержавне.

Середній показник площі ППСМ Луцького району Волинської області складає понад 7 га. Для сільських та селищних

Перелік парків-пам'яток садово-паркового мистецтва Луцького району  
Волинської області

№ з/п	Назва ППСМ	Площа, га	Розташування ППСМ
Загальнодержавного значення			
1	Байрак	13	містечко Рокині, Луцька міська територіальна громада
Місцевого значення			
2	Берестечківський	4,5	м. Берестечко
3	Горохівський	12	м. Горохів
4	Макаревичівський	0,9	Ківерцівська міська рада, с. Омельне, вул. Паркова
5	Першотравневий	12,5	Боголюбське лісництво
6	Сидоруків парк	1,2	м. Горохів, вул. Берестецька, 2, ДП «Горохівське ЛМГ»
Разом		44,1	

*Джерело: складено автором за даними Управління екології та природних ресурсів Волинської обласної державної адміністрації.*

ППСПМ характерним є гармонійне включення паркових композицій у природне оточення. Зазвичай парки розташовуються поруч з водоймами, поблизу яких створюються прогулянкові алеї та місця для спостереження (рис. 1). Міські ППСМ переважно розташовані ближче до центру міста або житлових районів, що робить їх доступними у транспортному відношенні. Для міських ППСМ характерним є збереження паркових архітектурних композицій міста.

Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва «Байрак» знаходиться у віданні Музею історії сільського господарства Волині «Скансен». Природоохоронний об'єкт загальнодержавного значення утворено Указом Президента України № 715/96 від 20.08.1996 (Перелік ..., 2023). На крутих схилах річки Серни знаходяться збережені рослинні угруповання з різнотрав'ями і злаками, а також чагарниково-деревні асоціації. У долині річки, на ставку, ростуть осокові, очеретяні та рогові асоціації з вищою надводною рослинністю. Тут зростає близько 150 видів дерев і чагарників, серед яких є екзотичні рослини, такі як ліріодендрон тюльпановий, сосна кримська і веймутова, катальпа бігнонієподібна, аморфа кушова, айлант високий, сибірський кедр і європейський кедр, тис ягідний та інші види. У парку можна зустріти рідкісний вид рослин, який занесений до Червоної книги України – коручка чемерникоподібна з широкими листями (Природно-заповідний фонд Волинської області). Після проведення натурного обстеження у ППСМ «Байрак» виявлено п'ять типів садово-парко-

вих ландшафтів: лучний; лісовий; парковий; садовий; регулярний (Дзиба і Покотилова, 2016).

Привабливість ППСМ «Байрак» для туристів обумовлена не лише природними особливостями території, але й наявністю багатьох архітектурних та культурних пам'яток. Як було зазначено, даний об'єкт природно-заповідного фонду перебуває у користуванні Музею історії сільського господарства Волині, у якому зібрано близько дванадцяти старих архітектурних споруд, таких як вітряний млин, садибу, кілька хат, кузню, клуню та інші. У музеї організують різноманітні святкування, ярмарки та фестивалі (Мельничук та ін., 2019).

Більшість парків-пам'яток садово-паркового мистецтва, розташованих на території району, мають місцеве значення і були створені з метою збереження рідкісних та особливо цінних рослинних угруповань, а також зразків паркової архітектури. В підсумку, рекреаційна діяльність в межах ППСМ не набула організованого системного характеру. У таких парках переважно спостерігається неорганізований відпочинок громадян (наприклад, піші прогулянки, катання на велосипедах), який не підконтрольний органам місцевої влади.

Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва «Берестечківський» знаходиться у віданні Управління житлово-комунального господарства Берестечківської міської ради. Створено рішенням обласної ради від 17.03.94 № 17/19. У парку, заснованому у XIX столітті, знаходиться близько 60 видів

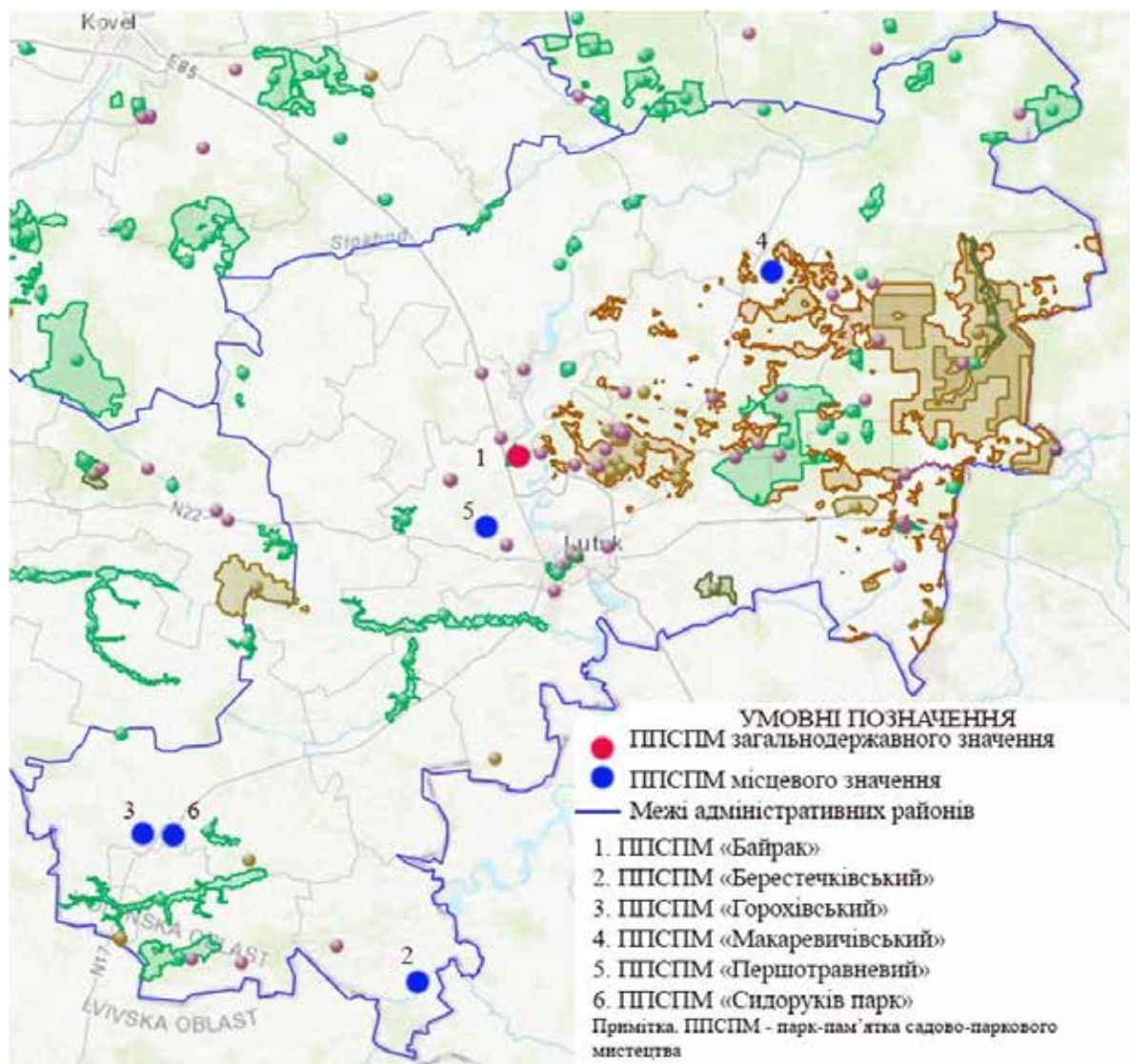


Рис. 1. Картосхема розташування ППСІМ в межах Луцького району Волинської області

дерев і кущів, які знаходяться під охороною (Перелік ..., 2023; Природно-заповідний фонд Волинської області).

Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва «Горохівський» знаходиться у віданні Управління житлово-комунального господарства Горохівської міської ради. Створено рішенням виконавчого комітету Волинської обласної ради депутатів трудящих від 11.07.72 № 255 «Про віднесення окремих пам'яток природи місцевого значення області до нової категорії заповідності» (Перелік ..., 2023). Парк, заснований у ХІХ столітті, розташований на високому пагорбі довжиною приблизно 900 метрів. Східний схил має відносну висоту 10 метрів, тоді як західний схил є крутішим і має висоту 15–18 метрів. Був у власності великих землевласників роду Тарнавських. Під

час Першої і Другої світових війн значна частина парку була висічена. Під охороною знаходиться понад 80 видів чагарників і дерев. Найпоширенішими видами є: липа серцелиста, гіркокаштан звичайний, тополя чорна, граб звичайний, акація біла, береза повисла, калина звичайна, верба біла, горобина звичайна. В північній частині парку збереглися найстаріші представники різних видів дерев, серед яких дуб звичайний, біла тополя та акація звичайна. У центрі парку росте бук звичайний, вік якого становить 200 років. У парку можна зустріти різноманітні види рослин, серед яких є ялина звичайна і блакитна, модрина сибірська, туя західна, а також численні плодові дерева, такі як груша звичайна, алича, черешня і яблуна. У парку зростають різноманітні екзотичні рослини, такі як клен татарський,

тутове дерево, яблуна Недзвецького – невелике дерево до 8 метрів з рожево-пурпурними квітами, скумпія, смородина золотиста, барбарис звичайний, угорський бузок, який внесений до Червоної книги України (Природно-заповідний фонд Волинської області).

Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва «Макаревичівський» знаходиться у віданні Ківерцівської міської ради. Створено рішенням облвиконкому від 26.07.83 № 272 (Перелік ..., 2023). У 1836–1838 роках біля свого маєтку видатний польський письменник Юзеф Ігнатій Крашевський, відомий філософ, історик, громадський діяч і публіцист, заснував парк. Протягом близько 20 років він проживав на Волині. У парку є окремі зони з віковими насадженнями несправжньопалатанового і гостролистого кленів, а також липи серцелистої (Природно-заповідний фонд Волинської області).

Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва «Першотравневий» знаходиться у віданні державного підприємства «Ківерцівське лісове господарство». Створено рішенням облвиконкому від 26.09.77 № 468-р. Парк був створений для збереження екзотичних насаджень, розташованих серед лісового масиву, таких як тюльпанове дерево, псевдотсуга Мензіса, амурський бархат, катальпа бігніонієподібна та інші рослини (Перелік ..., 2023; Природно-заповідний фонд Волинської області).

Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва «Сидоруків парк» знаходиться у віданні державного підприємства «Горохівське лісомисливське господарство». Природоохоронний об'єкт створено рішенням Волинської обласної ради від 20.12.2018 № 22/9 «Про збереження і розвиток природно-заповідного фонду» (Перелік ..., 2023). Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва «Сидоруків парк» утворено з метою охорони, використання в естетичних, наукових, виховних, природоохоронних, оздоровчих цілях заснованого у 1960 роках лісничим Сидоруким Йосипом Матвійовичем дендрарію, де зростає 107 видів кущів та дерев, серед яких 54 види – екзоти: сосни чорна і Веймутова, кипарисовик горіхоплідний, тюльпанове дерево, тис ягідний, софора японська тощо. Цінністю цього об'єкта є його розташування у межах населеного пункту, що підвищує його культурно-естетичний, науково-пізнавальний та рекреаційний потенціал. У межах ППСПМ зростає 10 видів рослин, які включені до Червоного

списку Міжнародного союзу охорони природи та природних ресурсів. На території ППСПМ зосереджена значна кількість цінних в естетичному та науковому відношеннях видів рослин, що сприяє їх використанню для організації освітньої, культурної та наукової роботи (Положення ..., 2024).

Парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва Луцького району Волинської області володіють цінними рекреаційними ресурсами, що сприяють розвитку рекреаційної діяльності. Проте на шляху до раціонального рекреаційно-туристичного використання ППСПМ району виникає ряд проблемних питань: благоустрій територій; проведення інвентаризації природних ресурсів парків; нерівномірне навантаження на ППСПМ; забезпечення доступу до ППСПМ; непоінформованість населення; забруднення територій ППСПМ.

Проблема дотримання заповідного режиму територій ППСПМ часто виникає через порушення цього режиму сторонніми користувачами або відвідувачами установ. Відвідувачі часто неорганізовано створюють нові зони для відпочинку, стежки та проходи. Наслідками неорганізованого рекреаційного використання є забруднення території, руйнування стежок та витоптування місць, які є найбільш популярними для відвідування. Також значною проблемою є санітарний стан територій ППСПМ. Засмічення відбувається як відвідувачами природоохоронних територій, так і місцевими мешканцями.

Парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва Луцького району в рекреаційній діяльності використовуються недостатньо. Залучення таких природоохоронних об'єктів до туристичної сфери потребує підтримки з боку органів місцевої влади, інвестицій, створення відповідної інфраструктури.

Парковий дозвілєвий простір є важливим компонентом культурно-дозвілєвої сфери, надаючи можливість людині взаємодіяти з природою, відчувати корисний вплив паркового оточення, вільно обирати види занять та їх різноманіття, переходячи від активних форм до пасивних, а також спілкуватися з індивідами та групами людей. Модернізація використання природних рекреаційних ресурсів парків-пам'яток садово-паркового мистецтва можливе лише шляхом переходу до нового рівня якості через реалізацію комплексної соціокультурної програми. Ця програма повинна бути спрямована на вирішення організаційних,

фінансових, культурних, правових, технологічних та інших завдань, спрямованих на збереження та розвиток парків-пам'яток садово-паркового мистецтва, а також на збільшення їхнього рекреаційного потенціалу (Кілінська та ін., 2013).

Географічне положення Луцького району Волинської області дозволяє залучати до відвідування ППСПМ не лише українських, але й іноземних рекреантів. Зазвичай рекреація у ППСПМ району проводиться у вигляді пасивного відпочинку в навколишньому природному середовищі. Дослідження ППСПМ Луцького району Волинської області дозволяє стверджувати, що перспективними з точки зору організації в їх межах рекреації є такі види туризму, як пішохідний, велосипедний, екологічний (зелений), культурний, пізнавальний.

Наявність пам'яток садово-паркового мистецтва сприяє розвитку садово-паркового (паркового, садового, квіткового) туризму. Цей вид туризму, з однієї сторони, ще тільки починає набирати популярності

по всьому світу, а з іншої, садово-паркове мистецтво має глибокі історичні корені. Виникнення цього явища має давню історію і є проявом цивілізації, окультурення природи. Садово-паркове мистецтво належить до синтетичних форм мистецтва і вважається одним з найбільш складних і ресурсомістких (Кляп і Шандор, 2011). Зараз зростає попит на спеціальні пропозиції для відвідування мальовничих садів, парків населених пунктів й фестивалів квітів.

Території ППСПМ Луцького району пропонується використовувати для організації тематичних екологічних маршрутів, проведення екоосвітніх заходів. Так, на рис. 2 представлено картосхему розробленого туристичного екомаршруту територією ППСПМ «Байрак».

Важливим кроком для розвитку рекреаційної привабливості ППСПМ району є проведення в їх межах екскурсій. Велику роль відіграє естетичне та екологічне виховання, пов'язане не тільки з формуванням дбайливого ставлення до навколишнього сере-

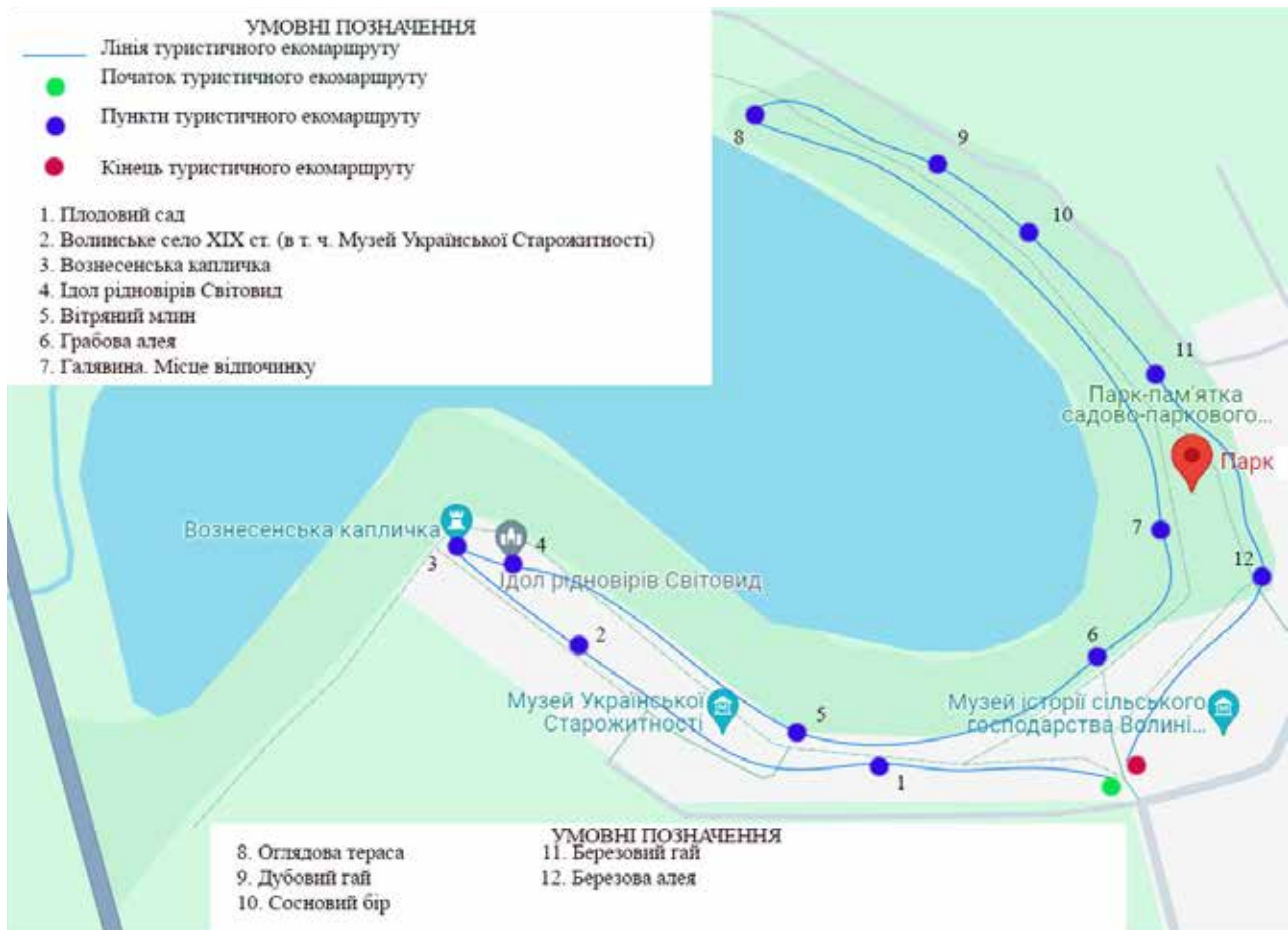


Рис. 2. Картосхема запропонованого туристичного екомаршруту територією ППСПМ «Байрак»



довища, але і з розумінням естетичної та історико-культурної суті природоохоронних об'єктів. У межах ППСПМ району можуть бути проведені різноманітні масові заходи (ярмарки, фестивалі, свята та ін.). Також ППСПМ району можуть бути об'єктами для показу на маршрутах екскурсійних програм туристичних агенцій.

Для забезпечення збалансованого рекреаційно-туристичного використання ППСПМ Луцького району необхідно реалізувати наступні заходи: розвиток інфраструктури та будівництво об'єктів для відпочинку та дозвілля; організація, проведення презентацій, виставок, культурно-масових та розважальних заходів; підвищення якості життя місцевого населення через надання високоякісних послуг у галузі оздоровлення та відпочинку на базі ППСПМ; організація різноманітного, комфортного та безпечного сімейного та екскурсійного відпочинку.

Для розвитку туристичної інфраструктури в межах ППСПМ Луцького району необхідно реалізувати комплекс заходів, включаючи: створення різноманітних тематичних екскурсійних маршрутів всередині природоохоронних територій, а також еколого-освітніх стежок, що відповідають пейзажному різноманіттю ландшафтів ППСПМ через їх маркування та знакування; облаштування пішохідних доріжок та місць для зупинки туристів під час екскурсій та прогулянок, а також забезпечення місцями та засобами для санітарних потреб; встановлення оглядових майданчиків та інформаційних експозицій; знакування та впорядкування об'єктів туристичного інтересу на території парків-пам'яток садово-паркового мистецтва; створення інформаційних пунктів зі встановленням відповідних панно, схем екскурсійних маршрутів й місць відпочинку, карт місцевості та іншої інформації для задоволення потреб короткочасного відпочинку; облаштування стоянок для автомобільного транспорту; впорядкування рекреаційної території для короткострокового відпочинку, що відповідає різним рівням потреб рекреантів. Розвиток рекреаційно-туристичної інфраструктури ППСПМ району важливо планувати таким чином, щоб забезпечити доступність для громадян з обмеженими фізичними можливостями.

Елементи облаштування територій ППСПМ Луцького району мають відповідати таким вимогам, як мінімізація впливу на навколишнє природне середовище, забезпечення зручності і безпеки для відвідувачів,

привабливість елементів інфраструктури, гармонізація дизайну з навколишнім простором. Раціональне облаштування території є ключовим чинником у розвитку рекреаційно-туристичної діяльності в межах парків-пам'яток садово-паркового мистецтва, оскільки сприятиме зниженню антропогенного впливу на природні та історико-культурні комплекси.

Сталий розвиток рекреаційної діяльності в межах парків-пам'яток садово-паркового мистецтва Луцького району сприятиме ефективній організації відпочинку в природному середовищі, забезпечить раціональне рекреаційне природокористування. Щоб покращити діяльність парків, потрібно створювати та впроваджувати програми розвитку для парків-пам'яток садово-паркового мистецтва на різних рівнях управління: на державному, регіональному та обласному рівнях. Ці програми повинні включати інструкції, розпорядження та програми розвитку населених пунктів, а також стратегічні напрямки розвитку на вищих рівнях управління, враховуючи специфічні особливості кожного конкретного парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва.

#### **Висновки**

Об'єкти ПЗФ, в тому числі й ППСПМ, відіграють важливу роль у розвитку рекреаційної діяльності. Парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва є складовою культурної та історичної спадщини, важливою для духовного збагачення народу. Потенціал для розвитку туризму в межах ППСПМ Луцького району Волинської області є значним, а реалізація можливостей їх рекреаційного використання сприятиме загальному соціально-економічному розвитку району. Актуальним завданням є пристосування ППСПМ району для потреб рекреаційно-туристичного використання зі збереженням їхньої планувальної основи та образної характеристики.

Розвиток ефективної рекреаційної діяльності в ППСПМ Луцького району та розроблений туристичний екомаршрут територією ППСПМ «Байрак» зокрема сприятимуть зменшенню неконтрольованих туристичних відвідувань, що, в свою чергу, призведе до зменшення навантаження на природні ландшафти. Об'єднання зусиль представників місцевих органів влади, установ, землекористувачів, у віданні яких перебувають об'єкти ПЗФ, екологічно свідомої громадськості та місцевого населення для формування та покращення туристич-

тичної інфраструктури ППСМ району може стати важливим показником в рамках виконання програм розвитку туризму територіальних громад району та Програми розвитку туризму у Волинській області на 2022–2026 роки.

Рекреаційну діяльність парків-пам'яток садово-паркового мистецтва Луцького району потрібно аналізувати з урахуванням історичних, суспільних та політико-економічних аспектів їх функціонування як у поточний період, так і у майбут-

ньому. Цей аналіз повинен базуватися на стратегічних планах розвитку туристичної галузі регіону. Дослідження парків-пам'яток садово-паркового мистецтва району як об'єктів рекреації сприятиме виявленню ефективних методів просування природоохоронних територій та об'єктів, а також залученню інвестицій у розвиток рекреаційно-туристичної діяльності, що враховуватиме вимоги рекреаційних потреб населення та збалансованого природокористування.

### Список використаних джерел

Аріон О.В., Виноградова О.І. Роль парків-пам'яток садово-паркового мистецтва у розвитку регіонального туризму (на прикладі Чернігівської області). *Конструктивна географія та раціональне використання природних ресурсів* : Наук. зб. / Ред. кол.: Я. Б. Олійник (відп. ред.) та ін. К. : Екотур-інфо, 2015 (3). Вип. 14. С. 3–12.

Безсмертнюк Т.П., Мельнічук М.М. Туристсько-рекреаційне використання природно-заповідного фонду північно-західної України : монографія. Луцьк : ПП Іванюк В. П., 2018. 168 с.

Беляева С.С. Туристична привабливість парків-пам'яток садово-паркового мистецтва (на прикладі Черкаської області). *Збірник наукових праць ЧДТУ. Сер. економіка*. 2014. Вип. 38. Ч. 1. Том 2. С. 100–110.

Боярин М.В., Волошин В.У., Цьось О.О. Штучно створені об'єкти природно-заповідного фонду – парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва та їх репрезентативність у Волинській області. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2020. № 34. С. 133–140.

Вишневська Г.Г., Булгакова Н. Парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва Київщини як туристичні об'єкти. *Українська культура: минуле, сучасне, шляхи розвитку*. 2020. Вип. 35. С. 208–214.

Дзиба А.А., Покотилова Т.Г. Модельна екологічна стежка парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва «Байрак». *Науковий вісник національного лісотехнічного університету України*. Львів : РВВ НАТУ України, 2016. Вип. 26 (7). С. 71–77.

Єрко І.В., Мельник Н.В., Качаровський Р.Є. Рекреаційний потенціал парків-пам'яток садово-паркового мистецтва (на матеріалах Володимирського району Волинської області). *Current state and prospects for the development of science, education and technology* : International scientific-practical conference (Tampere, Finland, April 6, 2024) : book of abstracts. Tampere : Scholarly Publisher ICSSH, 2024. P. 63–65.

Кілінська К., Скутар Т., Лопушняк А., Паламар Д. Парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва Чернівецької області – об'єкти рекреаційного природокористування. *Географія та туризм*. К. : Альтер-Прес. 2013. Вип. 25. С. 138–151.

Ключко Ю.М. Культурно-дозвілєва сфера України: динаміка змін та перетворень : монографія / Ключко Ю. М., Ковтун В. Д., Троєльнікова Л. О., Цимбалюк Н. М.; Під наук. ред. Цимбалюк Н. М. К., 2004. 180 с.

Кляп М.М., Шандор Ф.Ф. Сучасні різновиди туризму : навчальний посібник. К. : Знання, 2011. 334 с.

Кравцова І.В. Садово-паркові ландшафти як об'єкти рекреації і туризму. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій* : зб. наук. пр. / за заг. ред. Ф. В. Зузука. Луцьк : Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2012. № 9. С. 124–128.

Литвак І.В. Пам'ятки садово-паркового мистецтва в системі туристичних маршрутів Хмельниччини. *Сталий розвиток України: проблеми і перспективи* : збірник матеріалів за результатами IV науково-практичної конференції студентів та молодих вчених. Кам'янець-Подільський : Медобори-2006, 2016. С. 135–139.

Мельник А.В., Чир Н.В. Сучасні аспекти дослідження природно-заповідного фонду Закарпатської області як ядра для розвитку екологічного туризму. *Український географічний журнал*. 2019. Вип. 3. № 107. С. 43–52. <https://doi.org/10.15407/ugz2019.03.043>

Мельнічук М.М., Безсмертнюк Т.П., Ахмедов Б.М. Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва «Байрак» як об'єкт рекреаційного використання. *Природно-заповідний фонд Волинської області*:

освітній аспект : матеріали обласної науково-практичної конференції (10 жовтня 2019 р., м. Луцьк) / упоряд.: Н. В. Григор'єва, Мацюк Л. М. Луцьк : Волинський ІППО, 2019. С. 208–213.

Мельничук М.М., Безсмертнюк Т.П. Рекреаційна привабливість парків-пам'яток садово-паркового мистецтва Рівненської області. *Географія та туризм* : Наук. зб. / Ред. кол.: Любіцева О. О. (гол. ред.) та ін. К. : Альфа-ПІК, 2018. Вип. 44. С. 81–91.

Перелік територій та об'єктів природно-заповідного фонду загальнодержавного та місцевого значення, розташованих у Волинській області станом на 01.01.2023 року. [Електронний ресурс]. URL: <https://voladm.gov.ua/article/perelik-teritoriy-ta-obyektiv-prirodno-zapovidnogo-fondu-volinskoj-oblasti/> (дата звернення 14.07.2024).

Положення про парк-пам'ятку садово-паркового мистецтва місцевого значення «Першотравневий» Луцького району Волинської області : Наказ Управління екології та природних ресурсів Волинської облдержадміністрації 02.03.2018 № 18 / Волинська обласна державна адміністрація. [Електронний ресурс]. URL: <https://voladm.gov.ua/article/polozhennya-pro-park-pamyatku-pershotravneviy/> (дата звернення 19.07.2024).

Положення про парк-пам'ятку садово-паркового мистецтва місцевого значення «Сидоруків парк» Луцького району Волинської області : Наказ Управління екології та природних ресурсів Волинської облдержадміністрації 13.05.2024 № 24 / Волинська обласна державна адміністрація. [Електронний ресурс]. URL: <http://surl.li/pwojia> (дата звернення 16.07.2024).

Природно-заповідний фонд Волинської області. [Електронний ресурс]. URL: <http://eco.voladm.gov.ua/> (дата звернення 14.07.2024).

Про затвердження Положення про парк-пам'ятку садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення «Байрак» : Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 17.10.2012 р. № 505. / Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0505737-12#Text> (дата звернення 18.07.2024).

Про затвердження Положення про рекреаційну діяльність у межах територій та об'єктів природно-заповідного фонду України : Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 26.07.2022 р. № 256 / Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1043-22#Text> (дата звернення 14.07.2024).

Про природно-заповідний фонд України : Закон України від 16.06.1992 р. № 2456-ХІІ. Дата оновлення : 01.01.2024 / Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12#Text> (дата звернення 14.07.2024).

Шовкун Т.М., Зінченко В.М., Мирон І.В. Сучасний стан та перспективи розвитку туризму в Національних природних парках Східного Полісся. *Український журнал природничих наук*. 2022. Вип. 2. С. 118–125.

Habchak N.F., Dubis L.F. Analysis of ecotourism infrastructure within the nature-protected areas of the Transcarpathian region (on the example of National Nature Park «Synevyr»). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2022. Vol. 31. № 1. P. 22–30. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/112203>.

Kucher A., Honcharova A., Kucher L., Bieloborodova M., Bondarenko L. Impact of War on the Natural Preserve Fund: Challenges for the Development of Ecological Tourism and Environmental Protection. *Journal Of Environmental Management And Tourism*. 2023. Vol. 14. № 5. P. 2414–2425. [https://doi.org/10.14505/jemt.v14.5\(69\).23](https://doi.org/10.14505/jemt.v14.5(69).23).

Melnychenko S.V., Mykhaylichenko H.I., Zabaldina Y.B., Kravtsov S.S., Skakovska S. S. The protected area as a tourism eco-brand. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2021. Vol. 30. № 1. P. 122–132. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/112111>.

Uliganets S.I., Shynkarenko U.Y., Melnyk L.V., Molochko M.A., Syrovets S.Yu. Analysis of natural prerequisites for the development of ecotourism in nature conservation areas (on the example of the Pyryatynskyi National Nature Park). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2023. Vol. 32. № 4. P. 859–870. <https://doi.org/10.15421/112376>.

## References

Arion, O.V., & Vynohradova, O.I. (2015). Rol parkiv-pamiatok sadovo-parkovoho mystetstva u rozvytku rehionalnoho turyzmu (na prykladi Chernihivskoi oblasti) [The role of parks-monuments of landscape gardening art in the development of regional tourism (on the example of Chernihiv region)]. *Konstruktivna heohrafia ta ratsionalne vykorystannia pryrodnykh resursiv [Constructive geography and rational use of natural resources]*, 14, 3–12 [in Ukrainian].

Bezsmertniuk, T.P., & Melniichuk, M.M. (2018). Turystscko-rekreatsiine vykorystannia pryrodno-zapovidnogo fondu pivnichno-zakhidnoi Ukrainy [Tourist and recreational use of the nature reserve fund of north-western Ukraine]. Lutsk : PE Ivanyuk V. P. [in Ukrainian].

Bieliaieva, S.S. (2014). Turystychna pryvablyvist parkiv-pamiatok sadovo-parkovoho mystetstva (na prykladi Cherkaskoi oblasti) [Tourist attractiveness of parks-monuments of landscape gardening art (on the example of Cherkasy region)]. *Zbirnyk naukovykh prats ChDTU. Ser. ekonomika [Collection of scientific papers of ChSTU. Ser. economics]*, 2 (38), 100–110 [in Ukrainian].

Boiaryn, M.V., Voloshyn, V.U., & Tsos O.O. (2020). Shtucho stvoreni obiekty pryrodno-zapovidnogo fondu – parky-pamiatky sadovo-parkovoho mystetstva ta yikh reprezentatyvnist u Volynskiyi oblasti [Artificially created objects of the nature reserve fund – parks-monuments of landscape gardening art and their representativeness in the Volyn region]. *Liudyna ta dovkillia. Problemy neoekologii [Man and the environment. Problems of neo-ecology]*, 34, 133–140 [in Ukrainian].

Vyshnevska, H.H., & Bulhakova N. (2020). Parky-pamiatky sadovo-parkovoho mystetstva Kyivshchyny yak turystychni obiekty [Parks-monuments of landscape gardening art in Kyiv region as tourist attractions]. *Ukrainska kultura: mynule, suchasne, shliakhy rozvytku [Ukrainian culture: past, present, and ways forward]*, 35, 208–214 [in Ukrainian].

Dzyba, A.A., & Pokotylova T.H. (2016). Modelna ekolohichna stezhka parku-pamiatky sadovo-parkovoho mystetstva «Bairak» [Model ecological trail of the park-monument of landscape gardening art «Bayrak»]. *Naukovyi visnyk natsionalnoho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy [Scientific Bulletin of the National Forestry University of Ukraine]*, 26 (7), 71–77 [in Ukrainian].

Yerko, I.V., Melnyk, N.V., & Kacharovskiyi R.Ye. (2024). Rekreatsiyni potentsial parkiv-pamiatok sadovo-parkovoho mystetstva (na materialakh Volodymyrskoho raionu Volynskoi oblasti) [Recreational potential of parks-monuments of landscape gardening art (based on the materials of Volodymyr district of Volyn region)]. *Current state and prospects for the development of science, education and technology : International scientific-practical conference (Tampere, Finland, April 6, 2024) : book of abstracts*. Tampere: Scholarly Publisher ICSSH, pp. 63–65 [in Ukrainian].

Kilinska, K., Skutar, T., Lopushniak, L., & Palamar, D. (2013). Parky-pamiatky sadovo-parkovoho mystetstva Chernivetskoi oblasti – obiekty rekreatsiinoho pryrodokorystuvannia [Parks-monuments of landscape art in the Chernivtsi region - objects of recreational nature management]. *Heohrafiia ta turyzm [Geography and tourism]*, 25, 138–151 [in Ukrainian].

Tsymbaliuk, N.M. (2004). Kulturno-dozvillieva sfera Ukrainy: dynamika zmin ta peretvoren : monohrafiia [Cultural and Leisure Sphere of Ukraine: Dynamics of Changes and Transformations : monograph]. Kyiv [in Ukrainian].

Kliap, M.M., & Shandor, F.F. (2011). Suchasni riznovydy turyzmu : navchalnyi posibnyk [Modern types of tourism : a study guide]. Kyiv : Znannia [in Ukrainian].

Kravtsova, I.V. (2012). Sadovo-parkovi landshafty yak obiekty rekreatsii i turyzmu [Garden and park landscapes as objects of recreation and tourism]. *Pryroda Zakhidnoho Polissia ta prylyhlykh terytorii [Nature of Western Polissya and the surrounding areas]*, 9, 124–128 [in Ukrainian].

Lytvak, I.V. (2016). Pamiatky sadovo-parkovoho mystetstva v systemi turystychnykh marshrutiv Khmelnychchyny [Monuments of landscape gardening art in the system of tourist routes of Khmelnytskyi region]. *Stalyi rozvytok Ukrainy: problemy i perspektyvy : zbirnyk materialiv za rezultatamy IV naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv ta molodykh vchenykh [Sustainable Development of Ukraine: Problems and Prospects: a collection of materials based on the results of the IV scientific practical conference of students and young scientists]*. Kamianets-Podilskiyi: Medobory-2006, 135–139 [in Ukrainian].

Melnyk, A.V., & Chyr, N.V. (2019). Suchasni aspekty doslidzhennia pryrodno-zapovidnogo fondu Zakarpatskoi oblasti yak yadra dlia rozvytku ekolohichnoho turyzmu [Modern aspects of the study of the nature reserve fund of the Transcarpathian region as a core for the development of ecological tourism]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian Geographical Journal]*, 3 (107), 43–52. <https://doi.org/10.15407/ugz2019.03.043> [in Ukrainian].

Melniichuk, M.M., Bezsmertniuk, T.P., & Akhmedov, B.M. (2019). Park-pamiatka sadovo-parkovoho mystetstva «Bairak» yak ob'ekt rekreatsiinoho vykorystannia [Park-monument of landscape gardening art «Bayrak» as an object of recreational use]. *Pryrodno-zapovidnyi fond Volynskoi oblasti: osvittni aspekt : materialy oblasnoi naukovo-praktychnoi konferentsii [Nature Reserve Fund of Volyn Region: Educational Aspect : materials of the regional scientific and practical conference]*. Lutsk: Volyn IPPO, 208–213 [in Ukrainian].

Melniichuk, M.M., & Bezsmertniuk, T.P. (2018). Rekreatsiina pryvablyvist parkiv-pamiatok sadovo-parkovoho mystetstva Rivnenskoï oblasti [Recreational attractiveness of parks-monuments of landscape gardening art in Rivne region]. *Heohrafiia ta turyzm [Geography and tourism]*, 44, 81–91 [in Ukrainian].

Perelik terytorii ta ob'ektiv pryrodno-zapovidnoho fondu zahalnodержavnogo ta mistsevoho znachennia, roztashovanykh u Volynskii oblasti stanom na 01.01.2023 roku [List of territories and objects of the nature reserve fund of national and local importance located in the Volyn region as of 01.01.2023]. [Electronic resource]. URL: <https://voladm.gov.ua/article/perelik-teritoriy-ta-obyektiv-prirodno-zapovidnogo-fondu-volynskoyi-oblasti/> (access date 14.07.2024) [in Ukrainian].

Polozhennia pro park-pamiatku sadovo-parkovoho mystetstva mistsevoho znachennia «Pershotravnevyi» Lutskoho raionu Volynskoi oblasti : Nakaz Upravlinnia ekolohii ta pryrodnykh resursiv Volynskoi oblderzhadministratsii 02.03.2018 # 18 / Volynska oblasna derzhavna administratsiia [Regulations on the park-monument of landscape gardening art of local importance «Pershotravnevyi» of Lutsk district of Volyn region: Order of the Department of Ecology and Natural Resources of Volyn Regional State Administration on 02.03.2018 No. 18 / Volyn Regional State Administration]. [Electronic resource]. URL: <https://voladm.gov.ua/article/polozhennya-pro-park-pamyatku-pershotravnevyi/> (access date 19.07.2024) [in Ukrainian].

Polozhennia pro park-pamiatku sadovo-parkovoho mystetstva mistsevoho znachennia «Sydorukiv park» Lutskoho raionu Volynskoi oblasti : Nakaz Upravlinnia ekolohii ta pryrodnykh resursiv Volynskoi oblderzhadministratsii 13.05.2024 # 24 / Volynska oblasna derzhavna administratsiia [Regulations on the park-monument of landscape gardening art of local importance «Sydorukiv Park» in Lutsk district of Volyn region: Order of the Department of Ecology and Natural Resources of Volyn Regional State Administration on 13.05.2024 No. 24 / Volyn Regional State Administration]. [Electronic resource]. URL: <http://surl.li/pwojia> (access date 16.07.2024) [in Ukrainian].

Pryrodno-zapovidnyi fond Volynskoi oblasti [Nature Reserve Fund of the Volyn Region]. [Electronic resource]. URL: <http://eco.voladm.gov.ua/> (access date 14.07.2024) [in Ukrainian].

Pro zatverdzhennia Polozhennia pro park-pamiatku sadovo-parkovoho mystetstva zahalnodержavnogo znachennia «Bairak» : Nakaz Ministerstva ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy vid 17.10.2012 r. # 505. / Verkhovna Rada Ukrainy [On Approval of the Regulation on the Park-Monument of Landscape Gardening Art of National Importance «Bayrak»: Order of the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine dated 17.10.2012 No. 505. / Verkhovna Rada of Ukraine]. [Electronic resource]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0505737-12#Text> (access date 18.07.2024) [in Ukrainian].

Pro zatverdzhennia Polozhennia pro rekreatsiinu diialnist u mezhakh terytorii ta ob'ektiv pryrodno-zapovidnoho fondu Ukrainy : Nakaz Ministerstva zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy vid 26.07.2022 r. # 256 / Verkhovna Rada Ukrainy [On Approval of the Regulation on Recreational Activities within the Territories and Objects of the Nature Reserve Fund of Ukraine : Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine of 26.07.2022 No. 256 / Verkhovna Rada of Ukraine]. [Electronic resource]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1043-22#Text> (access date 14.07.2024) [in Ukrainian].

Pro pryrodno-zapovidnyi fond Ukrainy : Zakon Ukrainy vid 16.06.1992 r. # 2456-KhII. Data onovlennia : 01.01.2024 / Verkhovna Rada Ukrainy [On the Nature Reserve Fund of Ukraine: Law of Ukraine of 16.06.1992, No. 2456-XII. Date of update: 01.01.2024 / Verkhovna Rada of Ukraine]. [Electronic resource]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12#Text> (access date 14.07.2024) [in Ukrainian].

Shovkun, T.M., Zinchenko, V.M., & Myron, I.V. (2022). Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku turyzmu v Natsionalnykh pryrodnykh parkakh Skhidnoho Polissia [Current state and prospects of tourism development in the National Nature Parks of Eastern Polissia]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnych nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 2, 118–125 [in Ukrainian].

Habchak, N.F., & Dubis L.F. (2022). Analysis of ecotourism infrastructure within the nature-protected areas of the Transcarpathian region (on the example of National Nature Park «Synevyr»). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 31 (1), 22–30. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/112203> [in English].

Kucher, A., Honcharova, A., Kucher, L., Bieloborodova, M., & Bondarenko L. (2023). Impact of War on the Natural Preserve Fund: Challenges for the Development of Ecological Tourism and

Environmental Protection. *Journal Of Environmental Management And Tourism*, 14 (5), 2414–2425. [https://doi.org/10.14505/jemt.v14.5\(69\).23](https://doi.org/10.14505/jemt.v14.5(69).23) [in English].

Melnychenko, S.V., Mykhaylichenko, H.I., Zabaldina, Y.B., Kravtsov, S.S., & Skakovska, S.S. (2021). The protected area as a tourism eco-brand. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 30 (1), 122–132. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/112111> [in English].

Uliganets, S.I., Shynkarenko, U.Y., Melnyk, L.V., Molochko, M.A., & Syrovets, S.Yu. (2023). Analysis of natural prerequisites for the development of ecotourism in nature conservation areas (on the example of the Pyryatynskyi National Nature Park). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 32 (4), 859–870. <https://doi.org/10.15421/112376> [in English].

Отримано: 21.07.2024

Прийнято: 12.08.2024



УДК 911.3:27-523:332.1

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.8>

## ЛАБІРИНТ ЯК ЕЛЕМЕНТ САКРАЛЬНОГО ПРОСТОРУ

В. М. Воловик<sup>1</sup>, О. Д. Лаврик<sup>2</sup>

Дослідження присвячене поняттю лабіринту: етимології, трактуванню та типології як складової сакрального простору. Метою дослідження є висвітлення дефініції «лабіринту» у складі сакральної географії та сакрального ландшафтознавства, аналіз просторового розташування з позицій лімінальної складової сакрального простору. Для аналізу лабіринту як елемента сакрального простору були використані ландшафтознавчий, історико-географічний, етнічно-екологічний та еніологічний підходи. Відродження інтересу до історії, функціонування та розвитку лабіринту як елемента сакрального простору сприяв активному обміну ідеями між істориками, культурологами, теологами, географами, ландшафтними дизайнерами, що спричинило сплеск інтересу до цієї тематики на початку ХХІ століття. Історико-географічний аналіз лабіринтів проведено в окремих працях зарубіжних географів, теологів, культурологів. Більшість з них не завжди зазначають відмінність між окремими підходами до трактування та етимології терміну. У цих дослідженнях мало уваги приділено типологізації та аналізу структури лабіринту з позицій географії, що зумовлює необхідність системного вивчення та формування відповідних моделей. У статті проаналізовано трактування «лабіринту»: техногенне, архітектурне, сакральне / тафальне / лімінальне, еніоземлезнавче, семіотичне, метафоричне, літературне.

Авторами запропоновано типології лабіринтів на основі просторового, генетичного та морфологічного підходу. У просторовому типі запропоновано виокремлювати лабіринти за висотною диференціацією: наземні, підземні, перехідні. За генезисом виділено підтипи лабіринтів у складі сакрального простору: натуральний (підземні комплекси печер та галерей), натурально-антропогенні (сакральні модифіковані комплекси галерей та печер), антропогенні або техногенні (лабіринти у церквах, з дерну, «троянські міста» тощо). Запропоновано морфологічну типологію лабіринтів з підтипами: змієподібний лінійний, концентричний кіл, спіральний, хрестоподібний. Застосування запропонованих трактувань і типологій лабіринту у складі сакрального простору поглибить зв'язки у міждисциплінарних напрямках географії, теології, філософії, культурології та дозволить розширити теоретико-методологічну базу сакральної географії.

**Ключові слова:** лабіринт, сакральний простір, лімінальний, сакральний ландшафт.

<sup>1</sup> доктор географічних наук, професор,  
професор кафедри географії  
(Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, м. Вінниця)  
e-mail: wolowyk@gmail.com  
ORCID: 0000-0001-8663-0342

<sup>2</sup> доктор географічних наук, професор,  
професор кафедри екології та географії  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)  
e-mail: slavrik1979@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-2604-2500

## LABYRINTH AS AN ELEMENT OF SACRED SPACE

V. M. Volovyk, O. D. Lavryk

*The study is devoted to the concept of the labyrinth: etymology, interpretation and typology as a component of the sacred space. The purpose of the study is to clarify the definition of "labyrinth" as part of sacred geography and sacred landscape science, to analyze the spatial arrangement from the standpoint of the liminal component of the sacred space. To analyze the labyrinth as an element of sacred space, landscape science, historical-geographical, ethnic-ecological and eniological scientific approaches were used. The revival of interest in the history, functioning and development of the labyrinth as an element of the sacred space contributed to an active exchange of ideas between historians, cultural scientists, theologians, geographers, and landscape designers, which caused a surge of interest in this topic at the beginning of the 21st century. The historical and geographical analysis of labyrinths was carried out in separate works of foreign geographers, theologians, and cultural experts.*

*Most of them do not always note the difference between separate approaches to the interpretation and etymology of the term. In these studies, rather little attention was paid to the typology and analysis of the structure of the labyrinth from the point of view of geography, which necessitates a systematic study and the formation of appropriate models. The article analyzes the interpretation of the "labyrinth": man-made, architectural, sacred / taphal / liminal, eniogeological, semiotic, metaphorical, literary. The authors proposed a typology of labyrinths based on a spatial, genetic and morphological approach. In the spatial type, it is proposed to distinguish labyrinths according to height differentiation: ground, underground, transitional. According to the genesis, subtypes of labyrinths in the composition of the sacred space are distinguished: natural (underground complexes of caves and galleries), natural-anthropogenic (sacred modified complexes of galleries and caves), anthropogenic or man-made (labyrinths in churches, made of turf, "Trojan cities"). A morphological typology of labyrinths with subtypes: serpentine linear, concentric circles, spiral, cross-shaped is proposed. The application of the proposed interpretations and typologies of the labyrinth as part of the sacred space will deepen connections in the interdisciplinary areas of geography, theology, philosophy, cultural studies and will allow to expand the theoretical and methodological base of sacred geography.*

**Key words:** labyrinth, sacred space, liminal, sacred landscape.

### Вступ

Лабіринт – один з давніх символів, значення якого еволюціонувало від духовного (сакрального) до матеріального. Класичний лабіринт має морфологічно округлу форму із входом і проходами, розташованими паралельними колоподібними «лініями», які сходяться до центру. Хоча може мати й прямокутну форму або форму багатогранника, як правило, саме це визначає і конфігурацію внутрішніх кіл (Kern, 2000). Маючи структуровані патерни, вони містять лише один шлях, який веде до центру і виводить з нього. Таким чином, лабіринт стає сакральною «метафорою» паломництва (Labyrinth, 2008). Кожен лабіринт є сукупністю ліній, яку можна витлумачити як загальний план або схему. Взяті у комплексі, вони формують схему руху. Для повного розуміння цієї схеми необхідно уявити, що індивідуум рухається доріжкою між лініями, які формують стіни лабіринту. Він може виконувати функції лімінальної складової сакрального простору, де після остаточного випробування (життя або смерті), можна знайти вихід назовні (отримати свободу). Таким прикладом

є історія Тесея, яку можна розглядати як символ небезпеки ініціації згідно зі схемою *dettensus ad inferos*, символічної смерті та повернення до життя.

Тож не дивно, що формування дискурсу навколо позиції лабіринту у сакральному просторі, супроводжується значним розвитком досліджень культури, теології, антропогенної географії, етнокультурного ландшафтознавства. Тому, об'єкт дослідження розташований у перехідній структурі (міжпросторовості) з позицій лімінальності у феноменологічній моделі сакрального простору. Терміни є різними, але вони нерозривно пов'язані, так що важко, або навіть небажано, аналізувати їх окремо (Landscapes, 2016).

Детальний аналіз об'єкту дослідження з'являється наприкінці XIX – початку XX століть. Зокрема, у «Британській енциклопедії» розміщено статтю, написану ботаніком і переважно присвячену лабіринтам-плутанкам, але сакральна складова не висвітлена. У 1915–1916 рр. в «Revue Archéologique» опубліковано серію статей про «Les Fallacieux Détours du Labyrinthe» французького археолога Робера де Лоне. Досить



незвичним є дослідження Дж. Перс, де лабіринт визначено як «одночасно всесвіт, світ індивідууму, храм, місто, людина, кишечник Матері (землі), ... паломництво, подорож і шлях» (за McCullough, 2004), а значну частину дефініції приділено сакральній складовій. Наприкінці ХХ – початку ХХІ століть видано значну кількість праць, присвячених лабіринтам як елементу сакрального простору (Kern, 2000; McCullough, 2004; Mathews, 2010), у яких підкреслено спільну ідею об'єкту дослідження: аналіз трактувань, особливості просторового поширення, історія розвитку та використання.

### Матеріал і методи

Окрім класичного розуміння лабіринту, необхідно проаналізувати його «суперпозицію» у феноменологічній моделі сакрального простору (Денисик та ін., 2020), а також трактування його лімінальної складової (Landscapes, 2016), який також входить до маргінальної частини гетеротопічної структури сакрального простору (Воловик і Атаман, 2023). Такий підхід у вивченні лабіринтів практично не зустрічається, що робить актуальним їх дослідження у географії культури та антропогенній географії.

Для аналізу лабіринту як елементу сакрального простору можливе застосування: ландшафтознавчого (унікальні властивості сакральних ландшафтів та місць); історико-географічного (лабіринт як складова сакрального простору у хронотопах); етнічно-екологічного (сакралізація – десакралізація); еніологічного (енерго-інформаційні структури лабіринту) підходів (Денисик та ін., 2020).

### Результати

Етимологія терміну «лабіринт» до сьогодні має багато спірних походжень. Найчастіше вживають грецьке слово «λαβύρινθος» як «λάβρυς» або «дім двобічної сокири». Дослідники стверджують, що суфікс *-intlios* був типовим при формуванні топонімів пов'язаних з грецькою міграцією (2000 р. до н.е.) (Kern, 2000; Mathews, 2010); з давньоєгипетської мови пропонується переклад як *lepi-* (святинище) та *-rehint* (гирло каналу). Інколи зустрічаємо походження з грецької мови – «підземні ходи», що вкладається у трактування лімінальної складової сакрального простору. У середньовіччі існувало пояснення терміну від «laborintus» – «долина сліз» (*labor* – тривога, нещастя, *intus* – в), де зображали 11 оточень, які символізують світ земного гріха (Kern, 2000).

В англійській мові значення «лабіринту» має дуальне трактування і представлено «maze» та «labyrinth». Перший є «живоплотом-лабіринтом» або «плутанкою» і має відношення до епохи розвитку садово-паркового мистецтва ХІХ – початку ХХ століть. Чи значна між ними різниця? Частина дослідників вважають за краще вживати термін «лабіринт-плутанка» (maze) лише до лабіринтів із живоплотів, використовуючи слово «лабіринт» (labyrinth) для позначення структур, описаних античними письменниками, або як загальний термін для будь-якого незрозумілого розташування шляхів (Mathews, 2010).

Лабіринт має відношення до значної різноманітності патернів (від простих до складних), починаючи від доісторичних наскельних гравюр до сучасного мистецтва, а також до складних символічних і міфологічних структур, які формувалися упродовж тисячоліть. Плани, ескізи та емблеми лабіринтів з'являються часто на великій території, але головним чином в Азії та Європі. Вважається, що деякі були задумані з метою заманити до них демонів, щоб вони не знайшли виходу (Labyrinth, 2001). Одним з найдавніших (понад 2 тис. років) лабіринтів, нанесений на глиняну табличку у м. Джедімеду (штат Тамілнад, Індія), представлений квадратом, зі стороною 17 м. Найбільшим та найдавнішим лабіринтом, за твердженням Геродота, є комплекс споруджений у 2300 р. до н.е., за 80 км на південь від Каїру і мав загальну площу 70 тис. м<sup>2</sup>, понад 3 тисячі наземних та підземних приміщень. Лабіринт використовували з тафальною метою, де були гробниці фараонів та крокодилів. У храмовому комплексі приносили жертви богам Єгипту, що підкреслює лімінальну позицію лабіринтів.

Середньовічний лабіринт слугував також для завершення пішохідних паломництв. Коли паломник наближався до кінцевої мети – святині чи святого місця, там формувалася лабіринт. Паломництво закінчувалося його проходженням після обходу святині чи священного місця. Прикладом є лабіринт у соборі Шартра (Франція), де сформувалося потужне сакральне місце, яке використовували ще друїди. Всередині собору з каменів було сформовано структуру завдовжки 294 м, діаметром – 13 м. У США найвідоміший лабіринт розташований в Єпископальному соборі Грейс у Сан-Франциско (Brockman, 2011).

Пропонуємо трактування терміну «лабіринт»:

а) *техногенне*: шлях на поверхні або підземні тунелі, через які надзвичайно складно (іноді небезпечно) знайти дорогу без відповідної допомоги. Найбільший природний лабіринт «Cool Patch Pumpkins» (м. Діксон, США) площею 25 га, був створений на кукурудзяному полі;

б) *архітектурне*: споруда зі значною кількістю кімнат і галерей, призначена для того, щоб заплутати зловмисників і збити їх зі шляху (Labyrinth, 2005);

в) *сакральне / тафальне / лімінальне*: святилище, що є велетенським вівтарем, де здійснюється обряд сакральної ініціації: «Лабіринт – це кільцевий шлях, що веде до центральної точки; шлях не має поворотів і тупиків, але неминуче веде до центру, де паломник відпочиває під час медитації» (Brookman, 2011, р. 289). Споруда лабіринту пов'язана з лімінальним простором, де перебувають душі покійних людей, або використовується як інструмент для зв'язку з Богом (Воловик і Атаман, 2023). Спіралями лабіринту повинні проходити душі, щоб у ньому загубитися і не повертатися до світу живих. Дев'ятиступеневий спіралевидний лабіринт символізує у багатьох етносів етап смерті. Це, частково, підтверджується тафальними комплексами, знайденими у тунелях;

г) *еніоземлезнавче*: лабіринт є частиною геоактивних структур Землі, де сформовані зони аномального прояву геофізичних та геохімічних процесів: коридори виконують роль «силової котушки», зал з колонами – «конденсатора», дольмени біля входу (McCullough, 2004) – «підсилювача». Структури «класичних» лабіринтів розташовані переважно над геомагнітними аномаліями та мережею розламів земної кори і можуть створювати ефект георезонансу. Таке трактування пов'язано з сакральними місцями язичників, особливо «магічної» складової (відьми та шамани танцювали у центрі лабіринту в період активних фаз Місяця); інколи рисунок лабіринту розташовували на порозі дому (Індія), що виконував функцію магічного захисту, оберігаючи від злих сил;

д) *семіотичне*, коли елементи лабіринту застосовують у сакральній геометрії: хрест, свастика (рух космічної матерії, божественна сонячна енергія), коло (вічність, циклічність, нескінченність, складова мандали, магічне коло з пентаграмою, струк-

тура кромлехів), трикутник (тріада головних богів у релігії єгиптян, індусів, ацтеків). Також до елементу лабіринту відносять «меандр» – аналог елементу морфології річкової долини;

е) *метафоричне*, будь-яка складність, з якої практично неможливо вибратися (Labyrinth, 2005);

є) *літературне*, коли дослідники (Набитович, 2010) аналізують філологічні особливості творів (наприклад, Б. Прус, Х.Л. Борхес, У. Еко, Дж. Дос Пасос тощо). Також лабіринти згадуються у літературних джерелах з бронзового віку (критські петрогліфи); досить поширеними є у рукописах (В. Мейер, В. Башелет-Масіні, В. Хаубріхс) (Kern, 2000).

Аналізуючи лабіринти, пов'язані із сакральним простором необхідно виокремити відповідні типології. Їх багатство конотацій і взаємопов'язаних значень поєднується в єдиній символічній структурі лабіринту; враховуючи його давність і накопичення шарів магічного, релігійного, раціонального та метафізичного значень. Упродовж минулих кількох століть ідея лабіринту розвивалася і набувала нових значень, які вплинули на його дизайн, але частково втратила сакральну складову. Зазначимо належність лабіринтів до різних груп варіантів сакральних ландшафтів: язичницької (переважно), християнської, іудейської (Воловик, 2013; Mishchenko, 2018; Mishchenko, 2019).

За просторовим розташуванням лабіринтам притаманна висотна диференціація на *підтипи*: наземні, підземні та змішаного підтипу (входи на поверхні – гроти, ущелини). Більшість підземних лабіринтів мають лімінальну сакральну функцію.

За *генезисом* пропонуємо виділити натуральні (підземні комплекси печер та галерей), натурально-антропогенні (сакральні модифіковані комплекси галерей та печер), антропогенні або техногенні (лабіринти у церквах, з дерну, «троянські міста» тощо) типи лабіринтів у складі сакрального простору.

*Натуральні та натурально-антропогенні лабіринти*. До натурального типу віднесено системи карстових ландшафтів, представлених перехідними та підземними формами (maze cave): мережа трубчастих ходів та отворів у печері з комплексами горизонтальних галерей. Геоморфологами описано три типи печер-лабіринтів – анастомозні, мережеві та губчасті (A Lexicon...,

2002). Спільні лабіринти, зокрема печери Нок-Фелл і Девіс-Хоул Майн, зустрічаються у вапняках Йоредейл північних Пенін, але найбільші лабіринти знаходяться в Блек-Гіллс (включаючи печеру Джевел, США) і в українських гіпсових масивах (Оптимістична).

Лабіринти у карстових ландшафтах не мають прямого зв'язку з культовим використанням, а є лише передумовою для їх зародження. Їх не потрібно розглядати як споріднену категорію з погляду розуміння культової належності. Хоча, у стародавньому світі печери означали вхід до Матері-Землі, утробу, куди можна було увійти, щоб знову народитися. Темні зони печер особливо добре підходять для здійснення ритуалу через можливості усамітнення та приватності, а також часте сприйняття підземного світу як потойбічного та позачасового середовища (Caves and ritual..., 2018). Це могло бути місце, де оракул проголошував майбутнє, як у Дельфах. Річка Стікс у грецькій міфології, шлях до загробного світу, була під землею, і це було образом християнського уявлення про пекло. Для майя печерні лабіринти були місцем, де душі померлих входили в підземний світ, і тому, на дні печер знаходили культові артефакти (Brockman, 2011).

У ранньому середньовіччі печерні лабіринти трансформуються у *натурально-антропогенний тип*, які використовували для святкування релігійних містерій. Багато явлень Марії відбувалися у печерах, наприклад як Лурд, а також ті, що мають цілющі джерела чи криниці, особливо цінуються. Прикладами таких лабіринтів є претенденти на лабіринт Мінотавра: печера Скотіно (Крит), тунелі у Гортині (Крит); в останньому випадку частина тунелів і колон мають гладкі поверхні, що вказує на антропогенний вплив.

Класичним прикладом є Критський лабіринт у Кноссі, пов'язаний з міфом Мінотавра. Позбавлений симетрії палац був лабіринтом приміщень, коридорів, колонад, сходів і колодязів, що з'єднувалися між собою на 2,5 га, охоплюючи три поверхи. Близько 1400 р. до н.е. більшість споруд комплексу було зруйновано або покинуто. Можливі пояснення включають руйнівний землетрус, морське вторгнення або затоплення припливною хвилею після виверження вулкану на сусідньому острові Тера (Olsen, 2007). Нижні рівні палацу мали крипти із зображенням «подвійної сокири» (підкреслюючи

трактування «labrys»), зі стовпами у центрі, з каналами або басейнами. Інколи такі крипти інтерпретують як аналоги священних печер, де культові обряди проводилися навколо сталагмітів і сталактитів. Ймовірно, нижні поверхи крипт пов'язані з тафальними функціями лабіринту.

*Антропогенний тип лабіринтів*, у частини яких відсутня сакральна функція (наприклад, паркові лабіринти, лабіринти-плутанки), хоча морфологічно та семіотично є аналогами відповідних структур.

До підтипу наземного типу віднесено сакральні *лабіринти з дерну* (діаметром від 10 до 45 м), у якому викопували лінії, що уособлювали «стіни». Формували неглибокі канавки (завширшки до 0,1–0,2 м), позбавлені рослинності. Паломник рухався виступаючими ділянками дерну (завширшки до 0,6 м), ніби йшовши за «ниткою Аріадни». Райони поширення: Великобританія (збереглися – у Долбі, Алкборо, Уінг, Хілтон, Сомертон, Сафрон-Уолден, Вінчестер, Брімор), Німеччина (Штайграан-дер-Унструт, Грайштен, Кауфбойрен, Айленріде), о. Суматра (Kern, 2000) тощо. Частина з них не збереглися, хоча рештки є у Чехії (Прага), Польщі (Різенберг), Північній Ірландії (графство Лондондеррі), Швеції (Асіре).

*Підтип паркових лабіринтів та лабіринтів-плутанок* входить до складу садово-паркових культурних ландшафтів, характерних для епохи Відродження та бароко; належить до регулярних, геометрично правильних парків. Переважна більшість сформована з кущів, які обрамляли доріжку з обох боків. Деревя та чагарники висаджували дуже щільно. З відомих проєктів, які було реалізовано: парк Абондан (поблизу Парижу), «Новий та старий лабіринти» (Амстердам), лабіринт де Орта (Барселона), Версаль, замковий сад (Гейдельберг), палац Хемптон-Корт (поблизу Лондона), парк в Зоргфліті (поблизу Гааги), лабіринт-плутанка у літньому палаці імператора Цяньлуна (Пекин) тощо. Сакральної складової не містить.

Підтип «*троянські міста*», представлені спорудами, складеними з каменів, викладеними на поверхні і нічим не закріплені. Поширені на островах та узбережжях, інколи у внутрішніх районах Північної Європи: у Швеції – до 300, Норвегії – до 20, Фінляндії – понад 140 об'єктів. Діаметр – від 7 до 18 м, кількість кіл – 9–15, морфологічна схема подібна до «критської» (Kern, 2000). У цього підтипу лабіринту відсутнє місце, де розташований вхід. Кам'яні лабіринти

подібної морфології можна зустріти в Індії, Мексиці, Аризоні (США).

Найпоширенішою є морфологічна типологія лабіринтів (Labyrinth, 2005) з підтипамі: змієподібний лінійний, концентричних кіл, спіральний, хрестоподібний.

*Змієподібний лінійний лабіринт.* Тип протолабіринтового патерна з блукаючих або хвилястих ліній, які іноді розташовані в одному напрямі, а потім повертають назад у протилежному. Часто зустрічається в доісторичних наскельних гравюрах, з'являючись у поєднанні зі спіральними лабіринтами. Змієподібні лінії сповіщають про подорож «ліворуч і праворуч» і означають долю, вирішену різними протилежними впливами, видимими й невидимими – шлях кочівника або мисливця, перехід людства крізь простір і час.

*Лабіринт концентричних кіл.* Патерн складається переважно з концентричних кіл, пронизаних прямою або змієподібною лінією. Центральна точка відповідає походженню або прояву божественної енергії. Нове життя і родючість залежать від прихованого центру – буття матері-Землі. Цей підтип лабіринту стосується космогонічного бачення, таємниці життєвих процесів.

*Спіральний лабіринт.* Складається зі спіральної лінії, що обертається навколо центру; представлений подвійним рухом, всередину і назовні, іноді затягнутий у подвійну спіраль. Варіаціями спіралі можна вважати відоме зображення «інь і ян» або ж грецькі мотиви. Оскільки спіраль не залишає альтернативних шляхів, дослідники вважають за краще називати її «псевдолабіринтом». Його перша поява, ймовірно, пов'язана з переходом Homo sapiens від неолітичних кочівників до осілого аграрного життя, що змусило переоцінити поняття родючості. Сільське господарство передбачало постійне життя та формування привілейованих локусів, а також віру у «воскресіння» невидимими силами, прихованими в землі, що сприймається як внутрішня життєва енергія.

Спіральні лабіринти також символізують «змію», оскільки індійська традиція представляє її імпліцитно, що здатна підніматися вгору по хребту (axis mundi). Рух змії, заряджений енергією і значенням у тантричному розумінні та у християнській культурі, є стародавнім символом, пов'язаним із землею. Він з'явився під час розквіту аграрної цивілізації і поширився на регіони Месопотамії, Індії, Мезоамерики.

*Хрестоподібний лабіринт* поєднує спіральний мотив із поділом сакрального простору у чотирьох напрямках. Цей тип геометричної композиції з'явився в Месопотамії, а потім в Єгипті, приблизно наприкінці IV тисячоліття до н.е. Хрестоподібний лабіринт використовувався в християнській семіотиці після XII століття: на підлозі соборів, у живописі, геральдичних та езотеричних емблемах. Деякі лабіринти у формі хреста, відомі в Італії як «вузол Соломона», представлені у кельтському, германському та романському стилях, є синтезом подвійної символіки хреста та лабіринту; з цієї причини вони відомі як «емблема божественної незбагненності» (Labyrinth, 2001).

Перехід від спіралі до хрестоподібного лабіринту, ймовірно, є результатом ситуації, сформованої розвитком аграрної та міської культур. Місто стає привілейованим і захищеним місцем, де зосереджені багатство, знання та влада, як матеріальна, так і духовна. Центр міста, як центр лабіринту, перетворюється на роздоріжжя, від якого вимірюються відстані та відраховується час. Чотири – це основна кількість напрямів: схід, захід, північ і південь. Хрест – знак їх поширення від центрального ядра. Площа, яка розвивається з хреста, стає емблемою раціонального міста / містечка і місцем проживання містян (Воловик та ін., 2022). Ця зміна знаходить своє візуальне вираження у впорядкованих вертикальних і горизонтальних рукавах хреста, які при повторенні створюють геометричні візерунки на основі квадратів.

Такий тип лабіринту теж виконує лімітальну функцію, коли огорожене, міцне та організоване місто або містечко може виявитися «замкненим простором» для мешканців, так само як лабіринт міг використовуватися для відлову диких тварин. Тут втрачається свобода пересування і прямий контакт з духами природи.

Виникла необхідність аналізу сакрального простору у взаємодії географічного, культурного і сакрального трактування лабіринту, який може розглядатися як системна модель, що складається з природних та геокультурних підсистем (Денисик та ін., 2020). У працях початку XXI століття уточнено поняття сакрального простору як специфічної структури, що характеризується поєднанням натуральних або створених антропогенних об'єктів з відповідними культовими властивостями, до яких віднесено і лабіринти.

### Обговорення

По відношенню до лабіринту можливе застосування поняття «лімінальності» (лат. *limes, limites, limen*), як означення будь-якої кількості меж або зовнішньої огорожі; *limen* може означати «поріг» – вхід до лабіринту. Це стверджується лише тоді, коли межу цього «порогу» проходять при здійсненні культових дій. У такому випадку, лімінальний простір у складі сакрального, буде представлений перехідними структурами між «сакральним фізичним» та «сакральним нефізичним» (Воловик і Атаман, 2023), до яких відносять і досліджуваний об'єкт. Лабіринт також має відношення до поняття «центропериферії» та фронтірних структур «сакральне – профанне». Як зазначив М. Еліаде: «Не кожен може потрапити у лабіринт і вийти із нього неушкодженим: вхід до лабіринту був різнозначний до ініціації... Цілоком ймовірно, що захисні пристрої, які захищали поселення і міста, спочатку були магічними. Ці пристрої – рови, лабіринти, вали тощо мали на меті зупинити вторгнення демонів і душ померлих, а не напади людей» (Eliade, 2017), що підкреслює лімінальність досліджуваного об'єкту. Лімінальність лабіринту озна-

чає «поріг» між двома складовими сакрального простору, розташованими з обох сторін «гетеротопічної» площини (Денисик та ін., 2020). Термін буквально означає «обидва шляхи», і той, хто знаходиться у лімінальному просторі, повинен бути завжди налаштований на присутність несприятливих або суперечливих можливостей (Landscapes, 2016). Головна «місія» лабіринту полягає в захисті «Центру», що насправді було посвяченням у святість та безсмертя.

### Висновки

Запропоновані типології лабіринту за розташуванням, генезисом та морфологією потребують уточнення та доповнення, врахувавши те, що предметом більшості досліджень є культурологічний або семіотичний, або міфологічний напрям. Сакральне-географічні трактування об'єкту дослідження висвітлюються неповно або поверхнево. Відродження інтересу до історії, функціонування та розвитку лабіринту як елементу сакрального простору сприяв активному обміну ідеями між істориками, теологами, географами, ландшафтними дизайнерами, що спричинило новий сплеск інтересу до цієї тематики.

### Список використаної літератури

- Воловик В.М. Етнокультурні ландшафти: регіональні структури і природокористування : монографія. Вінниця : ТОВ «Вінницька міська друкарня», 2013. 464 с.
- Воловик В.М., Атаман Л.В. Сакральна концепція лімінальності. *Сакральне та туризм* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 28 квіт. 2023 р.). Київ : ТОВ «Геопринт», 2023. С. 21–24.
- Воловик В., Лаврик О., Яцентюк Ю., Максютюв А. Польські етнокультурні ландшафти Поділля: структура, використання, охорона культурної спадщини. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія : Геологія. Географія. Екологія.* 2022. № 57. С. 68–80. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-06>.
- Денисик Г.І., Воловик В.М., Яцентюк Ю.В., Кізюн А.Г. Моделі сакрального простору. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія : Геологія. Географія. Екологія.* 2020. № 53. С. 106–119. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-08>.
- Набитович І.Й. Концепт лабіринту як сакрального локусу (на прикладі новелістики Х.А. Борхеса, романів У. Еко «Ім'я рози» та К. Мосс «Лабіринт»). *Мазістеріум.* 2010. № 38. С. 45–51.
- A Lexicon of Cave and Karst Terminology with Special Reference to Environmental Karst Hydrology. Washington : U.S. Environmental Protection Agency, 2002. 214 p.
- Brockman N. Labyrinths. *Encyclopedia of sacred places.* Santa Barbara : ABC-CLIO, LLC, 2011. P. 289–290.
- Caves and ritual in Medieval Europe, AD 500-1500. Oxford : Oxbow Books, 2018. 314 p.
- Eliade Mircea. Sacrum, mit, historia. Wybór esejów. Warszawa : Państwowy Instytut Wydawniczy, 2017. 279 p.
- Kern Hermann. Through the Labyrinth: designs and meanings over 5000 years. Munich; New York : Prestel, 2000. 360 p.
- Labyrinth. *A dictionary of symbols.* London : Routledge, 2001. P. 173–175.
- Labyrinth. *The Encyclopedia of Religious Phenomena.* Detroit : Visible Ink Press, 2008. P. 193–195.
- Labyrinth. *Encyclopedia of Religion, Second Edition. Vol. 8. Ka'bah – Marx Karl.* Farmington: Thomson Gale, 2005. P. 5273–5279.
- Landscapes of Liminality. Between Space and Place. London : Rowman & Littlefield International, 2016. 238 p.

McCullough W. David. *The Unending Mystery: A Journey Through Labyrinths and Mazes*. Pantheon Books, 2004. 272 p.

Mathews William Henry. *Mazes and Labyrinths: Their History and Development*. London : The Lost Library, 2010. 253 p.

Mishchenko O. Classification scheme of sacred landscapes. *European Journal of Geography*. 2018. Vol. 9. № 4. P. 62–74. [Електронний ресурс]. URL: <https://eurogeojournal.eu/index.php/egj/article/view/51> (дата звернення 22.07.2024).

Mishchenko O. Structural organization of sacred landscapes. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2019. Vol. 28 (3). P. 487–494. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/111944>.

Olsen Bradford C. *Sacred Places Europe: 108 Destinations*. San Francisco: CCC Publishing, 2007. 320 p.

## References

Volovyk, V.M. (2013). Etnokuljturni landshafty: regionaljni struktury i pryrodokorystuvannja [Ethnocultural landscapes: regional structures and nature use]. Vinnytsia : TOV «Vinnyts'ka mis'ka drukarnya» [in Ukrainian].

Volovyk, V.M., & Ataman, L.V. (2023). Sakraljna koncepcija liminalnosti [The sacred concept of liminality]. *Sakraljne ta turyzm [Sacred and tourism]*. TOV «Gheoprynt» [in Ukrainian].

Volovyk, V., Lavryk, O., Jacentjuk, Y., & Maksjutov, A. (2022). Poljsjki etnokuljturni landshafty Podillja: struktura, vykorystannja, okhorona kuljturnoji spadshhyny [Polish ethnocultural landscapes of Podillia: structure, use, protection of cultural heritage]. *Visnyk Kharkivskogho nacionalnogho universytetu imeni V. N. Karazina, cerija «Gheologhija. Gheoghrafija. Ekologhija» [Bulletin of Kharkiv National University named after V. N. Karazin. Series: Geology. Geography. Ecology]*, 57, 68–80. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-06> [in Ukrainian].

Denysyk, G.I., Volovyk, V.M., Jacentjuk, Y.V., & Kizjun, A.G. (2020). Modeli sakralnogho prostoru [Models of sacred space]. *Visnyk Kharkivskogho nacionalnogho universytetu imeni V. N. Karazina, cerija «Gheologhija. Gheoghrafija. Ekologhija» [Bulletin of Kharkiv National University named after V. N. Karazin. Series: Geology. Geography. Ecology]*, 53, 106–119. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-08> [in Ukrainian].

Nabytovych, I.J. (2010). Koncept labiryntu jak sakralnogho lokusu (na prykladi novelistyky Kh.L. Borkhesa, romaniv U. Eko «Im'ja rozy» ta K. Moss «Labirynt») [The concept of the labyrinth as a sacred locus (on the example of H.L. Borges's novels, U. Eco's «The Name of the Rose» and K. Moss's «The Labyrinth»)]. *Maghisterium [Magisterium]*, 38, 45–51 [in Ukrainian].

A Lexicon of Cave and Karst Terminology with Special Reference to Environmental Karst Hydrology. (2002). Washington U.S. *Environmental Protection Agency* [in English].

Brockman, N. (2011). Labyrinths. *Encyclopedia of sacred places*. Santa Barbara : ABC-CLIO, LLC [in English].

Caves and ritual in Medieval Europe, AD 500-1500. (2018). Oxford [in English].

Eliade, Mircea. (2017). Sacrum, mit, historia. Wybór esejów. Warszawa [in Polish].

Kern, Hermann. (2000). *Through the Labyrinth: designs and meanings over 5000 years*. Munich; New York [in English].

Labyrinth. (2001). *A dictionary of symbols*. Routledge [in English].

Labyrinth. (2008). *The Encyclopedia of Religious Phenomena*. Visible Ink Press [in English].

Labyrinth. (2005). *Encyclopedia of Religion, Second Edition. Vol. 8. Ka'bah - Marx Karl*. Thomson Gale [in English].

Landscapes of Liminality. Between Space and Place. (2016). London [in English].

McCullough, W.D. (2004). *The Unending Mystery: A Journey Through Labyrinths and Mazes*. Pantheon Books [in English].

Mathews, W.H. (2010). *Mazes and Labyrinths: Their History and Development*. London [in English].

Mishchenko, O. (2018). Classification scheme of sacred landscapes. *European Journal of Geography*, 9 (4), 62–74. [Electronic resource] URL: <https://eurogeojournal.eu/index.php/egj/article/view/51> (access date 22.07.2024) [in English].

Mishchenko, O. (2019). Structural organization of sacred landscapes. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 28 (3), 487–494. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/111944> [in English].

Olsen, B.C. (2007). *Sacred Places Europe: 108 Destinations*. San Francisco [in English].

Отримано: 05.08.2024

Прийнято: 29.08.2024



## ХІМІЯ

УДК 621.35:547.22:541.13:541.8:541.127  
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.9>

### РЕАКЦІЇ $O_2^{\cdot-}$ - ВМІСНИХ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНИХ КОМПЛЕКСІВ З ОРГАНІЧНИМИ СУБСТРАТАМИ

І. В. Єфімова<sup>1</sup>, Й. О. Опейда<sup>2</sup>, О. В. Смирнова<sup>3</sup>,  
В. С. Толкунов<sup>4</sup>

Вирішувати проблему біоокиснення без розгляду ролі супероксиданіонвмісних супрамолекул в якості медіатора радикально-ланцюгового окиснення не може бути можливим. Відсутність даних подібного роду в літературі робить актуальним вивчення дії супероксиданіону в процесах вільно-радикального окиснення. Важливе біологічне значення мають також реакції  $O_2^{\cdot-}$  з алкілгалогенідами, як один з головних шляхів утворення високореакційноздатних інтермедіатів – тетраоксидів, пероксидів, синглетного кисню, пероксильних радикалів. Сумісне рішення цих питань дозволить уточнити механізми дії активного кисню по відношенню до біологічних субстратів і антиоксидантів різного типу – узагальнити розрізнені експериментальні дані у цій важливій для теорії і практики області. Проведено вивчення процесу хемільюмінесценції – ХЛ, що супроводжує взаємодію  $O_2^{\cdot-}$  з алкілгалогенідами. Виявлено хемільюмінесценцію в системах:  $KO_2$  – краун – розчинник,  $KO_2$  – краун – розчинник – пропілбромід;  $KO_2$  – краун – розчинник – бензолхлорид,  $KO_2$  – краун – розчинник – алілхлорид; а також в системі  $KO_2$  – краун – розчинник – кумол. Отримано кінетичні дані, проаналізовано застосовність схем за участю пероксирадикалів  $ROO$  і розраховано кінетичні параметри інтенсивності ХЛ. Запропоновано механізм виникнення хемільюмінесценції. Встановлено фізико-хімічні закономірності окиснення різних органічних субстратів у присутності супероксиданіонвмісних супрамолекул, а також реакцій  $O_2^{\cdot-}$  з алкілгалогенідами. Доведено, що при хемільюмінесцентному окисненні кумолу в присутності  $KO_2 \cdot 18Cr6$  у диметилсульфоксиді спостерігається пряма залежність величини періоду індукції від концен-

<sup>1</sup> кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник (Інститут фізико-органічної хімії та вуглехімії імені А. М. Литвиненка НАН України, м. Київ)  
e-mail: anjuta.efimova@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-4374-2990

<sup>2</sup> доктор хімічних наук, професор, завідувач відділу (Інститут фізико-органічної хімії та вуглехімії імені А. М. Литвиненка НАН України, м. Київ)  
e-mail: opeyda.jo.o@nas.gov.ua  
ORCID: 0000-0001-8591-0537

<sup>3</sup> молодший науковий співробітник (Інститут фізико-органічної хімії та вуглехімії імені А. М. Литвиненка НАН України, м. Київ)  
e-mail: O.V.Smirnova@nas.gov.ua  
ORCID: 0000-0003-4143-7535

<sup>4</sup> кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник (Інститут фізико-органічної хімії та вуглехімії імені А. М. Литвиненка НАН України, м. Київ)  
e-mail: walerij779@gmail.com  
ORCID: 0009-0009-0292-2600

трації супрамолекулярного комплексу. Вперше показано можливість застосування активного кисню як медіатора радикально ланцюгового окиснення.

**Ключові слова:** супероксиданіонвмісні супрамолекули, галогенпохідні, радикально-ланцюгові процеси, молекулярний кисень.

## REACTIONS OF $O_2^{\bullet-}$ -CONTAINING SUPRAMOLECULAR COMPLEXES WITH ORGANIC SUBSTRATES

I. V. Yefimova, Y. O. Opeyda, O. V. Smirnova, V. S. Tolkunov

*Solving the problem of biooxidation without considering the role of superoxide anion-containing supramolecules as a mediator of radical chain oxidation cannot be possible. The lack of data of this kind in the literature makes it relevant to study the effect of superoxide anion in the processes of free radical oxidation. The reactions of  $O_2^{\bullet-}$  with alkyl halides are also of important biological importance, as one of the main ways of formation of highly reactive intermediates – tetraoxides, peroxides, singlet oxygen, peroxy radicals. A joint solution of these issues will allow us to clarify the mechanisms of action of active oxygen in relation to biological substrates and antioxidants of various types – to generalize scattered experimental data in this important for theory and practice area. We have studied the process of chemiluminescence – HL, which accompanies the interaction of  $O_2^{\bullet-}$  – with alkyl halides.*

*Chemiluminescence was detected in the following systems:  $KO_2$  – crown – solvent,  $KO_2$  – crown – solvent – propyl bromide;  $KO_2$  – crown – solvent – benzoyl chloride,  $KO_2$  – crown – solvent – allyl chloride; and also in the  $KO_2$  system – crown – solvent – cumene. Kinetic data were obtained, the applicability of schemes involving ROO peroxyradicals was analyzed, and kinetic parameters of CL intensity were calculated. The mechanism of chemiluminescence is proposed. The physicochemical regularities of the oxidation of various organic substrates in the presence of superoxide anion-containing supramolecules as well as reactions of  $O_2^{\bullet-}$  with alkyl halides were established. It was proved that during the chemiluminescent oxidation of cumene in the presence of  $KO_2 \cdot 18Cr6$  in dimethylsulfoxide, a direct dependence of the induction period on the concentration of the supramolecular complex is observed. For the first time, the possibility of using active oxygen as a mediator of radical chain oxidation is shown*

**Key words:** superoxide anion-containing supramolecules, halogen derivatives, radical chain processes, molecular oxygen.

### Вступ

Останніми роками значно підвищився інтерес до дослідження радикально-ланцюгових процесів за участю кисню, а також механізмів і шляхів їх хімічної регуляції (Halliwell et al., 2015; Kuznetsova et al., 2017). Дослідження в області органічної хімії супероксиду показали, що в апротонному середовищі цей аніон-радикал реагує через радикал – радикальне спарювання, приєднання до олефінів або відщеплення атома водню. Отримання активних частинок кисню у вигляді комплексів – супрамолекул важливо не тільки з точки зору медичної біохімії (Darenskaya et al., 2021; Shadyro et al., 2021), але й з метою встановлення і пояснення таких характеристик, як стабільність або активність по відношенню до різних субстратів (Solovyova et al., 2015; El-Missiry et al., 2021).

Наш інтерес до хімії супероксиду і його взаємодія із сполуками біохімічної важливості (Brazhko et al., 2015; Levy et al., 2020) спонукають сфокусувати також увагу

на розгляді ролі супероксиданіонвмісних супрамолекул в якості медіатора радикально-ланцюгового окиснення. Вирішувати проблему біоокиснення без відповіді на це питання не є можливим (Ingold et al., 2014; Lushchak et al., 2015). Відсутність даних подібного роду в літературі робить актуальним вивчення дії супероксид-аніону в процесах вільно-радикального окиснення.

### Матеріал і методи

В рамках поставленої задачі супероксиданіон генерували з використанням системи  $KO_2$ -18-Краун-6. В якості розчинників використовували диметилсульфоксид і ацетонітрил, очищені згідно з методикою (Efimova et al., 2024). Інтенсивність хемілюмінесценції та її кінетика вимірювалася на установці, що дозволяє реєструвати світіння у видимій області спектра (Шендрик та ін., 2018).

Досліди здійснювалися наступним чином: в скляний реактор барботажного типу, через який продували кисень, поміщали 4.5 мл розчинника або розчину RX в розчиннику (ДМС –

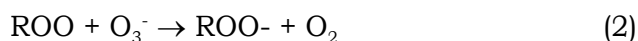
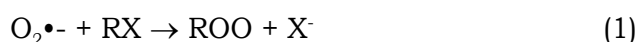


диметилсульфоксиді або АН – ацетонітрилі) і потім вводили 0.5 мл заздалегідь приготовленого рівноважного розчину  $\text{KO}_2$ -краунетером ( $[\text{KO}_2]_0 = 5.7 \cdot 10^{-3}$ ,  $[\text{краун}]_0 = 7.2 \cdot 10^{-3}$ ), час введення якого служило початком відліку часу реакції. Попередніми дослідженнями з вимірюванням кінетики зміни електропровідності при змішуванні  $\text{O}_2^{\cdot-}$  з краунетером показано, що час досягнення рівноважного стану в системі краунетер -  $\text{O}_2^{\cdot-}$  залежить від умов перемішування та концентрацій компонентів, але для розчинів діапазону концентрацій, що вивчається нами, не перевищує 120 хв.

За кінетикою процесу стежили за поглинанням кисню, використовуючи газоволюмометричну установку (Efimova et al., 2024). Розчинником був обраний диметилсульфоксид (ДМС), в якому супероксид-аніон достатньо стабільний. Очищення ДМСО, АІБН, кумолу, розрахунок швидкості окиснення проводили згідно методикам, описаним в (Efimova et al., 2024). Вимірювання кількості поглиненого кисню проводили таким чином. У реактор з наважками АІБН додавався 1 мл кумолу і 1 мл розчину краунетеру з КХ, витриманого до встановлення стаціонарної концентрації за іонами, який розбавляли до необхідної концентрації розчинником. Для «холостого» досліду замість такого розчину додавалася аліквота ДМС такого ж об'єму. Потім, на газометричному приладі вимірювалася кількість поглиненого кисню за часом по зміні об'єму при постійній заданій температурі і при постійному парціальному тиску кисню 760 мм. рт. ст.

### Результати

Реакції  $\text{O}_2^{\cdot-}$  з алкіл- та алкелкенгалогенідами (RX) у апротонних розчинниках – бензолі, ацетонітрилі, диметилформамиді широко вивчається як модельні, що дозволяє встановити стабільність та реакційну здатність супероксиданіону по відношенню до різних субстратів (Smith, 2016). Схема включає наступні стадії:



Взаємодія  $\text{O}_2^{\cdot-}$  з галогенпохідними призводить до утворення високореакційноздатних токсичних інтермедіатів – тетраоксидів, пероксидів, синглетного кисню, пероксильних радикалів. Процеси, в яких беруть участь ці інтермедіати, часто супроводжуються хемілюмінесценцією (ХЛ), тому

застосування методу ХЛ при дослідженні реакцій за участю  $\text{O}_2^{\cdot-}$  привертає постійну увагу дослідників (Шендрик та ін., 2018).

У літературі описані різні механізми реакцій, що супроводжуються ХЛ, найбільш вивченими серед яких є процеси взаємодії органічних сполук з різними формами кисню (Шендрик та ін., 2018). У більшості цих процесів знайдено природу емітерів, але детальну схему, зазвичай, не встановлено. На підставі отриманих експериментальних даних ХЛ в реакціях супероксиданіону показано, що емітером в цих процесах є синглетний кисень (Шендрик та ін., 2018; Oreida et al., 2019). Можна припустити також, що в ряді реакцій  $\text{O}_2^{\cdot-}$ , зокрема за участю галогенпохідних (RX), емітером може бути збуджений карбоніл, що утворюється при рекомбінації пероксирадикалів.

Квадратичний обрив ланцюгів пероксирадикалами, тобто, їх реакція рекомбінації у багатьох випадках призводить до продукту, який при подальшому розпаді дає збудження  $\text{P}^*$  реакції



Залежно від будови заступника R тетраоксид, що утворився, надалі може розпадатися за різними механізмами. Найчастіше  $\text{P}^*$  є збуджений кетон або синглетний кисень (Шендрик та ін., 2018; Oreida et al., 2019).

Нами проведено вивчення ролі реакції (4) у процесі ХЛ, що супроводжує взаємодію  $\text{O}_2^{\cdot-}$  з алкілгалогенідами. Супероксиданіон генерували з використанням системи  $\text{KO}_2$ -18-Краун-6 (Efimova et al., 2024). У досвідах використовувався рівноважний розчин  $\text{KO}_2$  з краунетером, приготовлений заздалегідь.

В якості розчинників використовували диметилсульфоксид і ацетонітрил, очищені згідно з методикою (Efimova et al., 2000). Інтенсивність хемілюмінесценції та її кінетика вимірювалася на установці, що дозволяє реєструвати світіння у видимій області спектра (Шендрик та ін., 2018).

Нами виявлена хемілюмінесценція в системах:  $\text{KO}_2$  – краун – ДМС,  $\text{KO}_2$  – краун – ДМС – пропілбромід (рис. 1);  $\text{KO}_2$  – краун – АН – бензоілхлорид,  $\text{KO}_2$  – краун – АН – алілхлорид (рис. 2); а також в системі  $\text{KO}_2$  – краун – ДМС – кумол.

Необхідно відзначити, що для всіх вивчених субстратів спостерігалася подібна картина – різке збільшення протягом кількох секунд інтенсивності ХЛ із подальшим порівняно повільним її згасанням. На рис. 1 та 2 представлені типові криві зміни інтенсив-

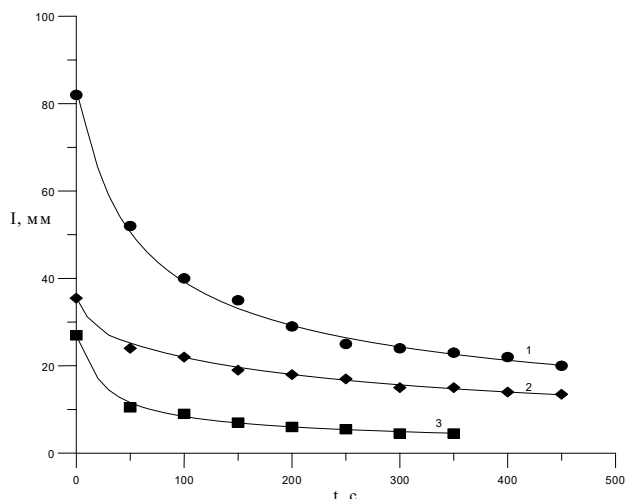


Рис. 1. Кінетичні криві хемілюмінесценції при взаємодії BrPr с  $O_2^{\cdot-}$ , ДМСО, 1 –  $[BrPr]_0 = 1.1 \cdot 10^{-6}$  моль/л, 2 –  $[BrPr]_0 = 1.1 \cdot 10^{-4}$  моль/л, 3 –  $[BrPr]_0 = 1.1 \cdot 10^{-1}$  моль/л  $[KO_2]_0 = 5.3 \cdot 10^{-4}$ , моль/л,  $[краун]_0 = 7 \cdot 10^{-4}$  моль/л

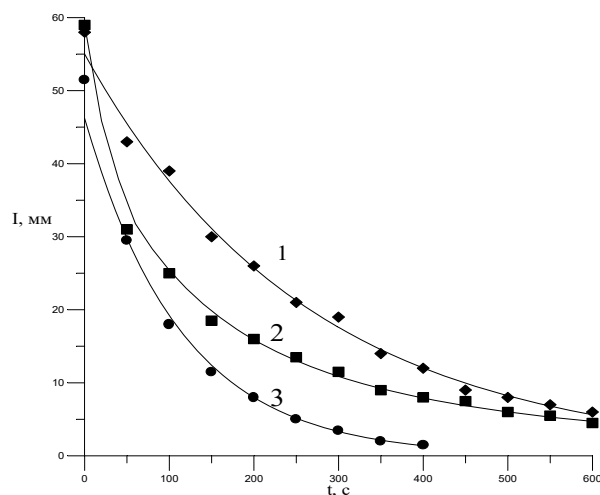


Рис. 2. Кінетичні криві хемілюмінесценції (I) при взаємодії RX с  $O_2^{\cdot-}$ , АН; 30 °С, 1 – RX = бензоїлхлорид (1,73 моль/л), 2 – RX = алілхлорид (1,14 моль/л), 3 – RX = алілхлорид (2,04 моль/л) +  $H_2O$  (1мл)

ності ХЛ(I) від часу у системі RX – розчинник та їх анаморфози (рис. 3, 4).

Величина максимальної інтенсивності ХЛ та кінетика її загасання залежать від природи хлориду (криві 1 та 2 рис. 2). Порівняння кривих 2 і 3 для алілхлориду демонструє, що в цьому випадку зміна концентрації субстрату та присутність води істотно позначаються на швидкості зміни інтенсивності ХЛ. У разі аліл- та бензоїлхлориду з  $O_2^{\cdot-}$  в АН (рис. 2) методика проведення експерименту дещо відрізнялася від вищеописаної. У цих досвідах використовувався не рівноважний розчин  $KO_2$  з краунетером, приготовлений заздалегідь, а вводилися навипування соли  $0.01g KO_2$  і  $8.75 \cdot 10^{-4}$  моль/л, розчин крауна в АН, потім – хлорпохідне RX (див. рис. 2) з добавками води, яка сама, взаємодіючи з  $O_2^{\cdot-}$ , змінює загальний механізм реакції. В даному випадку точкою відліку реакції служило введення RX.

Найбільш докладно методом ХЛ було вивчено кінетика взаємодії  $O_2^{\cdot-}$  з пропілбромідом (BrPr) (див. рис. 1). У цьому разі було розглянуто вплив варіювання концентрацій останнього у широкому діапазоні величин. Дані рис. 1 показують, що зі збільшенням вмісту BrPr у системі максимальна інтенсивність ХЛ, що спостерігається на початку реакції, падає.

Отримані кінетичні дані дозволяють проаналізувати застосовність найпростіших схем за участю пероксирадикалів ROO в стадії, що призводить до утворення елек-

тронозбуджених проміжних частинок, тобто враховує лише реакцію 4. У цьому випадку інтенсивність ХЛ буде пропорційна квадрату концентрації пероксирадикалів

$$I = k_0 [ROO]^2 \quad (5)$$

де  $I$  – ефективність ХЛ, а  $k_0$  – константа швидкості реакції 1.

Враховуючи, що константи швидкості реакції (1)  $O_2^{\cdot-} + RX \rightarrow ROO + X^-$  ( $k_1$ ) не перевищують  $10^4$  а  $k_0 \sim 10^6$  – швидко встановлюватиметься стаціонарний стан по пероксирадикалам – тоді

$$d[ROO]/dt = k_1[RX][O_2^{\cdot-}] - k_0[ROO]^2 = 0 \quad (6)$$

та при  $[RX] \gg [O_2^{\cdot-}]$

$$[O_2^{\cdot-}] = [O_2^{\cdot-}]_0 \exp(-k_1[RX] t) \quad (7)$$

$$I = \phi k_1 [RX] [O_2^{\cdot-}]_0 \exp(-k_1[RX]_0 t) \quad (8)$$

Таким чином, у разі значного надлишку RX (це відповідає дослідам 1, 2 таблиці 1), має спостерігатися залежність інтенсивності ХЛ від часу виду

$$\ln I = a_0 - a_1 t \quad (9)$$

Однак експериментальні дані показують, що така залежність спостерігається тільки для бензоїлхлориду та алілхлориду у присутності води (рис. 4). У решті випадків вона не виконується. Отримані залежності інтенсивності ХЛ від часу для пропілброміду можна спрямувати в напівлогарифмічних координатах, якщо ввести ще один параметр  $I_e$ , і перейти

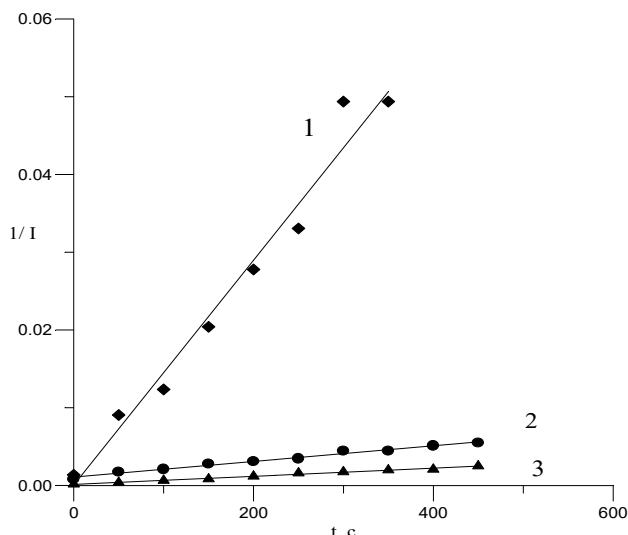


Рис. 3. Анаморфози залежностей рис. 1, 1 –  $[BrPr]_0 = 1.1 \cdot 10^{-6}$  моль/л, 2 –  $[BrPr]_0 = 1.1 \cdot 10^{-4}$  моль/л, 3 –  $[BrPr]_0 = 1.1 \cdot 10^{-1}$  моль/л

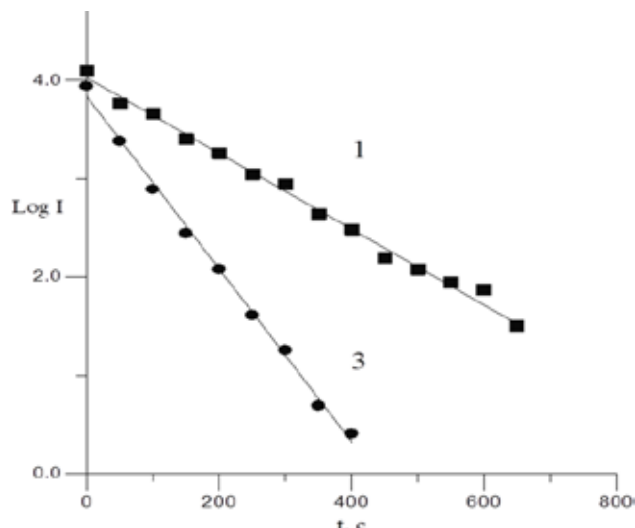
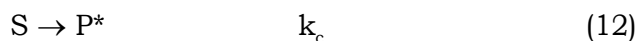
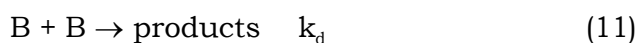
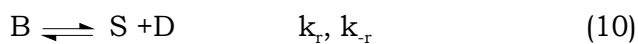


Рис. 4. Анаморфози залежностей 1,3 рис. 2, 1 – RX = бензоїлхлорид (1,73 моль/л), 3 – RX = алїлхлорид (2,04 моль/л) + H<sub>2</sub>O (1мл)

до координат  $\ln(I-I_e) - t$ , де  $I_e$  є інтенсивністю ХЛ при прагненні часу реакції до нескінченності. Для дослідів з пропілбромідом розрахунки показали, що  $I_e$  становить порівняно більшу величину і збільшується із зменшенням концентрації пропілброміду в розчині (таблиця 1). Як видно з таблиці 1, отримані значення тангенсів кута нахилу анаморфози  $a_1$  змінюються вкрай незначно навіть при зміні концентрації субстрату в 10 разів (досліди 1 та 2). Враховуючи, що  $a_1 = k_1[RX]_0$ , цей факт перебуває у протиріччі із запропонованою схемою. Не співвідноситься тенденція зміни  $a_0$  і  $a_1$  з очікуваною, виходячи зі схеми та в області переважання концентрації супероксидіону (досліди 4–6).

Разом з тим, кінетичні криві для систем з BrPr добре спрямовуються в координатах  $1/I^2 - t$ . Такі залежності вказують на складнішу схему реакції, однією з яких може бути кінетично еквівалентна схема:



де – B – інтермедіат, що швидко утворюється при зливанні розчинів, S реакційноздатний інтермедіат, що приводить в результаті мономолекулярної реакції або реакції з реагентом, концентрація якого протягом виконання експерименту постійна, до появи електронозбудженого продукту P\*.

В умовах стаціонарності S і за умови, що встановлюється швидко рівновага, а  $[S] = [D]$

$$[B] = k_{-r} [S]^2 / k_r \quad (14)$$

інтенсивність ХЛ за умови  $k_c \ll k_{cl}$  описується виразом

$$I = \phi k_c [S] \quad (15)$$

Враховуючи ці рівняння в умовах квазістаціонарності, отримаємо

$$d[B]/dt = -A I^4 \text{ де } A = k_d (k_{-r}/k_r)^2 (1/\phi k_c)^4 \quad (16)$$

$$[B] = A_2 I_2 \text{ де } A_2 = k_{-r} (1/\phi k_c)^2 / k_r \quad (17)$$

і відповідно

$$dI/dt = -A I^3 / 2A^2 \quad (18)$$

Інтегрування призводить до рівняння

$$1/I^2 = b_0 + b_1 t \quad (19)$$

$$\text{де: } b_0 = 2/I_0^2; b_1 = A/A_2 = k_d k_{-r} k_r^{-1} \phi^{-2} k_c^{-2} \quad (20)$$

Наявні дані не дозволяють суворо ідентифікувати інтермедіати B та S. Аналіз отриманих величин  $b_1$  (таблиця 2) показує, що вони різні у двох областях – значення порядку  $10^{-4}$  спостерігаються при  $[BrPr] \gg [O_2^{\bullet-}]$  та інший порядок –  $10^{-5}$  при  $[BrPr] \ll [O_2^{\bullet-}]$ . Екстрапольовані як за рівнянням 19, так і за рівнянням 9 до нуля величини інтенсивності ХЛ вище у разі малих концентрацій алкілгалогеніду. Ці факти свідчать про участь BrPr або продуктів його перетворень у стадіях лімітуючих ХЛ, що призводить до загасання початко-

Таблиця 1

Кінетичні параметри зміни інтенсивності ХЛ у присутності пропілброміду, отримані при обробці експериментальних даних щодо рівняння  $\ln(I-I_e) = a_0 - a_1 t$ ,  $[KO_2]_0 = 5.3 \cdot 10^{-4}$ , моль/л,  $[CR]_0 = 7 \cdot 10^{-4}$  моль/л; 30 °С, ДМС

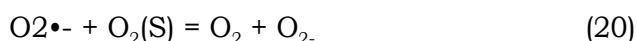
$[BrPr]_0$ , моль/л	$I_e$ , відн. од.	$I_0$ , відн. од.	$a_0$	$- a_1 \cdot 10^3$	Коеф. кор.
$1.1 \cdot 10^{-1}$	4.1	20.2	2.78±0.19	11±1	0.98
$1.1 \cdot 10^{-2}$	4.0	14.7	2.37±0.09	12±1	0.99
$1.1 \cdot 10^{-3}$	19.5	51.6	3.47±0.11	4.5±0.3	0.98
$1.1 \cdot 10^{-4}$	12.5	31.4	2.94±0.09	6.3±0.3	0.99
$1.1 \cdot 10^{-5}$	17.5	41.5	3.18±0.05	4.1±0.2	0.99
$1.1 \cdot 10^{-6}$	18.0	67.9	3.91±0.09	7.0±0.4	0.99

Таблиця 2

Кінетичні параметри зміни інтенсивності ХЛ у присутності пропілброміду, отримані при обробці експериментальних даних щодо рівняння  $1/I^2 = b_0 - b_1 t$  (за тих самих умов, що і у Таблиці 1)

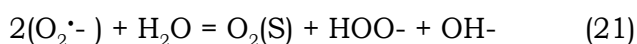
$[BrPr]_0$ , моль/л	$b_0 \cdot 10^4$	$b_1 \cdot 10^4$	Коеф. кор.
$1.1 \cdot 10^{-1}$	7.36±0.10	1.35±0.05	0.99
$1.1 \cdot 10^{-2}$	29.4 ±10	1.81±0.07	0.99
$1.1 \cdot 10^{-3}$	4.23±0.60	0.028±0.002	0.98
$1.1 \cdot 10^{-4}$	10.7±1.2	0.101±0.044	0.99
$1.1 \cdot 10^{-5}$	5.53±0.47	0.036±0.002	0.99
$1.1 \cdot 10^{-6}$	1.31±0.52	0.052±0.002	0.99

вого світіння та прискорення витрачання інтермедіатів, що призводять до збуджених продуктів. У присутності надлишку  $O_2^{\bullet-}$  можна очікувати кінетичного прояву реакції гасіння синглетного кисню



Це має призводити до зменшення інтенсивності ХЛ у разі, якщо емітером є синглетний кисень. Зменшення  $b_1$  за малих концентрацій  $RX$ , тобто там, де  $O_2^{\bullet-}$  багато, свідчить про незначну роль такої реакції.

Запропонована схема може бути ускладнена іншими реакціями. Зокрема якщо припустити, що  $B$  – одна з іонних форм  $O_2^{\bullet-}$ , то зміна характеру кінетичної кривої в досвіді з водою в порівнянні з досвідом де води немає, можна пов'язати з протіканням у присутності води відомої реакції диспропорціонування  $O_2^{\bullet-}$ , індукованому водою, що також супроводжується ХЛ (Шендрік та ін., 2018).



Отримані нами дані по кінетиці ХЛ при варіюванні структури галогенпохідного та розчинника показують, що кінетичні закономірності значно змінюються при переході від  $BrPr$  до інших хлорпохідних – кінетичні криві для бензоїлхлориду та алілхлориду в присутності води спрямовуються в коор-

динатах  $\log I - t$ , для алілброміду без води – в координатах  $1/I^{0.25} - t$ . Для алкенпохідних можна запропонувати також і інший механізм виникнення хемілюмінесценції, в основі якого лежать реакції розпаду циклічних пероксидів.

Слід зазначити також, що при введенні рівноважного розчину супероксиду в чистий розчинник – ДМС також спостерігається ХЛ. Викладені вище факти дозволяють припустити, що  $B$  – інтермедіат – є специфічною формою аніонрадикалу, здатної в подальших реакціях призводити до утворення електронозбуджених продуктів, а вода і галогеніди вступають в реакції, що призводять до зменшення концентрацій таких продуктів або їх попередників.

Для гальмування радикально-ланцюгових процесів окиснення використовують сполуки, що проявляють антиоксидантні властивості (Ingold et al., 2014; Sparman et al., 2017). Проблема вибору ефективних антиоксидантів є досить складним завданням. З нашої точки зору, ефективність застосування антиоксидантів багато в чому визначається знанням механізму їх дії в умовах кисневого стресу (Dagenskaya et al., 2021). Тобто поведінка  $O_2^{\bullet-}$  у реакціях радикально-ланцюгового окислення залишається нез'ясованою. З цією метою нами досліджено дію  $O_2^{\bullet-}$  в радикально-ланцю-

говому ініційованому азодіізобутіронітрилом (АІБН) і перекисом бензоїлу окисненні кумолу, взятого за сполуку – макет – всі стадії в схемі процесу досконало вивчено (Efimova et al., 2024). За джерело  $O_2^{\cdot -}$  - використовували супрамолекулярний ансамбль  $KO_2 \cdot 18Cr6$ . Також нами було задіяно і метод ХЛ.

На рис. 5 приведені кінетичні криві хемілюмінесценції при окисненні кумолу в присутності системи  $KO_2 \cdot 18Cr6$  у ДМС,  $75^\circ C$ ,  $[KO_2 \cdot 18Cr6]:1 - 8 \cdot 10^{-4}$  моль/л,  $2 - 4 \cdot 10^{-4}$  моль/л,  $3 - 8 \cdot 10^{-5}$  моль/л. Для вивченого  $5 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-3}$  моль/л діапазону концентрацій маємо типові залежності – інтенсивність хемілюмінесценції різко зростає протягом декількох хвилин, а далі, порівняно повільно загасає. Тобто, при хемілюмінесцентном окисненні кумолу в присутності супрамолекулярного комплексу встановлено наявність інгібуючого ефекту. Спостерігається пряма залежність величини періоду індукції від концентрації введеного комплексу  $KO_2 \cdot 18$ -краун-6 у ДМС.

За допомогою газоволонометричного методу вимірювання швидкості окиснення запропонованої моделі в присутності гідрокінону показано відсутність інгібуючого ефекту. Цей факт пояснюється взаємодією супероксид-аніону з гідрокіноном. Кінетичні криві ініційованого АІБН ( $2,00 \cdot 10^{-2}$  моль/л) окиснення кумолу в середовищі ДМС при температурі  $75^\circ C$  у присутності різних інгібуючих систем, взятих у концентрації  $1 \cdot 10^{-2}$  моль/л, 1 –  $KO_2$ 18-краун-6; 2 –  $KO_2$ 18-краун-6 та гідрокінон; 3 – гідрокінон наведені на рис. 6.

Також інгібуючий ефект відсутній і при використанні як ініціатору перекису бензоїлу – ПБ (рис. 7).

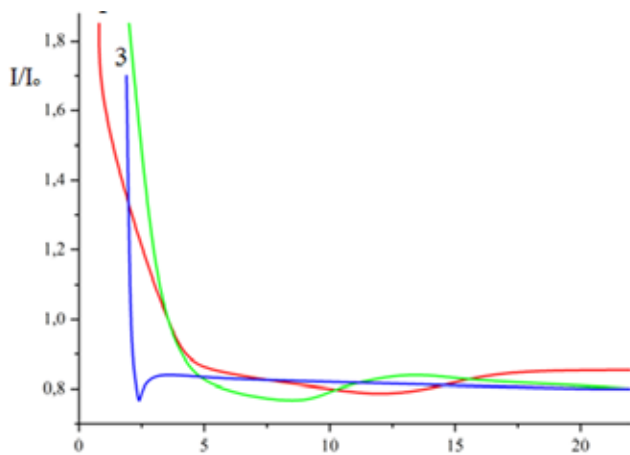


Рис. 5. Кінетичні криві хемілюмінесценції

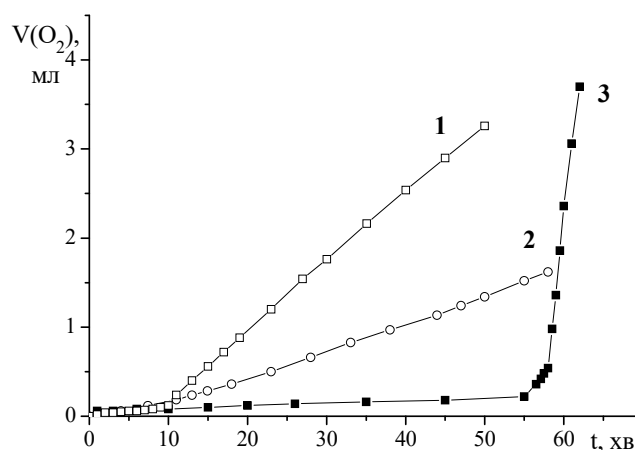


Рис. 6. Кінетичні криві окиснення кумолу у присутності різних інгібуючих систем: 1 –  $KO_2$ 18-краун-6; 2 –  $KO_2$ 18-краун-6 та гідрокінон; 3 – гідрокінон

Висновок про інгібівну роль  $O_2^{\cdot -}$  в процесі окиснення було підтверджено наступним експериментом – введенням пропілброміда в окислювальну суміш кумол – ДМС – комплекс, при цьому період індукції, обумовлений присутністю  $O_2^{\cdot -}$  в системі, повністю зникає. Це можна пояснити тим, що реакція алкилгалогенідів перебігає швидко і при цьому спостерігається повне перетворення  $KO_2$  в КВг, виключаючи вплив будь-яких побічних взаємодій в умовах експерименту, а  $O_2^{\cdot -}$  витрачається практично повністю. Наявність інгібівання свідчить про те, що радикали, які ведуть ланцюг, виводяться з вільно-радикального процесу. Найбільш

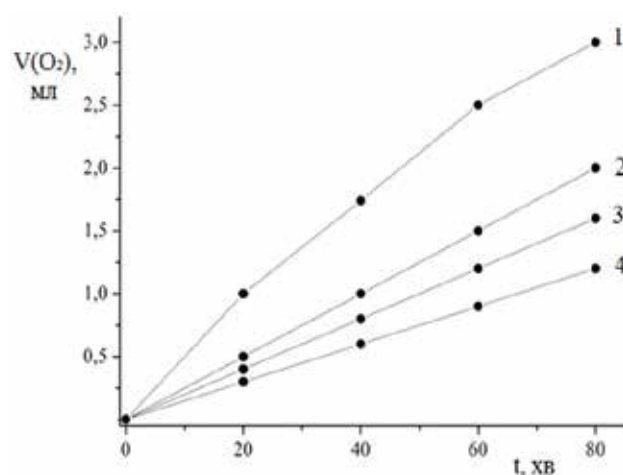
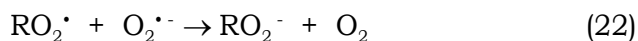


Рис. 7. Кінетичні криві окиснення кумолу у присутності  $KO_2 \cdot 18Cr6$  у ДМС (1:1),  $[KO_2]=[18Cr6]=0,05$  моль/л, при зміні концентрації ініціатора ПБ,  $50^\circ C$ : 1 – 0.1 моль/л, 2 – 0.05 моль/л, 3 – 0.03 моль/л, 4 – 0.02 моль/л

ймовірно це відбувається за реакцією одноелектронного відновлення алкилпероксирадикалу в пероксианіон згідно рівняння:



### Висновки

За допомогою методу хемілюмінесценції досконало вивчено взаємодію  $\text{O}_2^{\cdot-}$  з галогенпохідними, що супроводжується утворенням високореакційнодатних токсичних інтермедіатів – тетраоксидів, пероксидів, синглетного кисню, пероксильних радикалів. Виявлено хемілюмінесценцію в системах:  $\text{KO}_2$  – краун – ДМС,  $\text{KO}_2$  – краун – ДМС – пропілбромід;  $\text{KO}_2$  – краун – АН – бензоїлхлорид,  $\text{KO}_2$  – краун – АН – алілхлорид; а також в системі  $\text{KO}_2$  – краун – ДМС – кумол. Проаналізовано застосовність найпростіших схем за участю пероксирадикалів  $\text{ROO}^{\cdot}$  в стадії, що призводить до утворення електронозбуджених проміжних частинок. Доведено, що величина максимальної інтенсивності ХЛ та кінетика її загасання залежать від природи хлориду. Запропоновано кинетичні рівняння і розраховано пара-

метри процесу зміни інтенсивності ХЛ. Встановлено механізм виникнення хемілюмінесценції для різних галогенпохідних.

За допомогою двох методів – ХЛ і газоволюмометричним – розглянуто поведінку  $\text{O}_2^{\cdot-}$  в реакціях радикально-ланцюгового окиснення кумолу. Встановлено, що при окисненні кумолу в присутності  $\text{KO}_2 \cdot 18\text{Cr6}$  у диметилсульфоксиді має місце гальмування процесу. Спостерігається пряма залежність величини періоду індукції від концентрації супрамолекулярного комплексу. Таким чином показано, що супероксиданіоновмісні супрамолекулярні системи проявляють інгібівну дію в процесах радикально-ланцюгового окиснення, що може мати істотне значення при вивченні ролі активних форм кисню в біохімічних і хімічних процесах, які йдуть за участю  $\text{O}_2^{\cdot-}$ . Вивчення цього питання дозволить уточнити механізм дії антиоксидантів різного типу і узагальнити розрізнені експериментальні дані в цій важливій для теорії і практиці області та, можливо, забезпечити базу пошуку нових ефективних інгібуючих композицій.

### Список використаної літератури

- Шендрік О.М., Одарюк В.В., Одарюк І.Д. Радикали і хемілюмінесценція у реакціях фенолів з киснем у воді. Вінниця, 2018. 176 с.
- Brazhko O.O., Zavgorodny M.P., Kruglyak O.S., Omeljanchik L.O., Shapoval G.A. Antioxidant activity of alkoxy derivatives of (quinoline-4-ylthio) carboxylic acids. *Ukr. Biochem. J.* 2015. Vol. 87. № 2. P. 95–102. <https://doi.org/10.15407/ubj87.02.095>.
- Darenskaya M., Kolesnikova L., Kolesnikov S. The Association of Respiratory Viruses with Oxidative Stress and Antioxidants. Implications for the COVID-19 Pandemic. *Curr. Pharm. Des.* 2021. Vol. 27. № 13. P. 1618–1627. <https://doi.org/10.2174/1381612827666210222113351>.
- Efimova I.V., Smirnova O.V., Shendrik T.G. Antioxidant properties of brown coal humic substances. *Nauk. Visn. Nat. Hirn. Univ.* 2024. № 3. P. 116–121. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-3/116>.
- Efimova I.V., Opeida I.A. Conductometric study of the kinetics of potassium superoxide reaction with 18-crown-6 in dimethyl sulfoxide. *Russ. J. Gen. Chem.* 2000. Vol. 70. № 2. P. 266–270.
- El-Missiry M.A., Fekri A., Kesar L.A., Othman A.I. Polyphenols are potential nutritional adjuvants for targeting COVID-19. *Phytother. Res.* 2021. Vol. 35. № 6. P. 2879–2889. <https://doi.org/10.1002/ptr.6992>.
- Halliwell B., Gutteridge J.M. Free radicals in biology and medicine, 5th edn. *Oxford University Press*. Oxford, 2015. p. 944.
- Ingold K.U., Pratt D.A. Advances in radical-trapping antioxidant chemistry in the 21st century: a kinetics and mechanisms perspective. *Chem. Rev.* 2014. Vol. 114. № 18. P. 9022–9046. <https://doi.org/10.1021/cr500226n>.
- Kuznetsova T.Y., Solovyova N.V., Solovyov V.V., Kostenko V.O. Antioxidant activity of melatonin and glutathione interacting with hydroxyl and superoxide anion radicals. *Ukr. Biochem. J.* 2017. Vol. 89. № 6. P. 22–30. <https://doi.org/10.15407/ubj89.06.022>.
- Levy E., Delvin E., Marcil V., Spahis S. Can phytotherapy with polyphenols serve as a powerful approach for the prevention and therapy tool of novel coronavirus disease 2019 (COVID-19) *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 2020. Vol. 319. № 4. P. E689–E708. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00298.2020>.
- Lushchak V.I. Free radicals, reactive oxygen species, oxidative stresses and their classifications. *Ukr. Biochem. J.* 2015. Vol. 87. № 6. P. 11–18. <https://doi.org/10.15407/ubj87.06.011>.

Opeida I.A., Sheparovych R.B., Hrynda Y.M., Khavunko O.Y., Kompanets M.O., Shendryk A.N. Kinetics of oxidation of benzyl alcohols with molecular oxygen catalyzed by N-hydroxyphthalimide: Role of hydroperoxyl radicals. *Int. J. Chem. Kinet.* 2019. Vol. 51. № 9. P. 679–688. <https://doi.org/10.1002/kin.21287>.

Parasuraman S., Maithili K.S. Antioxidant and drug metabolism. *Free Rad Antiox.* 2014. Vol. 4. № 1. P. 01–02. <https://doi.org/10.5530/fra.2014.1.1>.

Shadyro O., Samovich S., Edimecheva I., Novitsky R., Khrutskiy V., Ihnatovich L., Dubovik B. Potential role of free-radical processes in biomolecules damage during COVID-19 and ways of their regulation. *Free Radic. Res.* 2021. P. 1–27. <https://doi.org/10.1080/10715762.2021.1938024>.

Smith M.B. Organic Synthesis. N.Y.: Academic Press. 2016. 1083 p.

Solovyova N.V., Kuznetsova T.Y. Quantum chemical modeling of antioxidant activity of glutathione interacting with hydroxyl- and superoxide anion radicals. *Ukr. Biochem. J.* 2015. Vol. 87. № 2. P. 156–162.

Sparman A., Thompson K. Safety Profile and Effect on Libido of a Combined Bryophyllum pinatum, Moringa oleifera and Vitamin C Phytotherapeutic Agent. *Free Rad Antiox.* 2017. Vol. 7. № 2. P. 156–159. <https://doi.org/10.5530/fra.2017.2.23>.

### References

Shendryk, O.M., Odarjuk, V.V., & Odarjuk, I.D. (2018). Radykaly i khemiljuminescencija u reakcijakh fenoliv z kysnem u vodi [Radicals and chemiluminescence in the reactions of phenols with acid in water]. Vynnycja, 176 p. [in Ukrainian].

Brazhko, O.O., Zavgorodny, M.P., Kruglyak, O.S., Omeljanchik, L.O., & Shapoval, G.A. (2015). Antioxidant activity of alkoxy derivatives of (quinoline-4-ylthio) carboxylic acids. *Ukr. Biochem. J.* 87 (2), 95–102. <https://doi.org/10.15407/ubj87.02.095> [in English].

Darenskaya, M., Kolesnikova, L., & Kolesnikov, S. (2021). The Association of Respiratory Viruses with Oxidative Stress and Antioxidants. Implications for the COVID-19 Pandemic. *Curr. Pharm. Des.* 27 (13), 1618–1627. <https://doi.org/10.2174/1381612827666210222113351> [in English].

Efimova, I.V., Smirnova O.V., & Shendrik T.G. (2024). Antioxidant properties of brown coal humic substances *Nauk. Visn. Nat. Hirn. Univ.* 3, 116–121. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-3/116> [in English].

Efimova, I.V., & Opeida, I.A. (2000). Conductometric study of the kinetics of potassium superoxide reaction with 18-crown-6 in dimethyl sulfoxide. *Russ. J. Gen. Chem.* 200070 (2), 266–270 [in English].

El-Missiry, M.A., Fekri, A., Kesar, L.A., & Othman, A.I. (2021). Polyphenols are potential nutritional adjuvants for targeting COVID-19. *Phytother. Res.* 35 (6), 2879–2889. <https://doi.org/10.1002/ptr.6992> [in English].

Halliwell, B., & Gutteridge, J.M. (2015). Free radicals in biology and medicine, 5th edn. Oxford University Press, Oxford, p. 944 [in English].

Ingold, K.U., & Pratt, D.A. (2014). Advances in radical-trapping antioxidant chemistry in the 21st century: a kinetics and mechanisms perspective. *Chem. Rev.* 114 (18), 9022–9046. <https://doi.org/10.1021/cr500226n> [in English].

Kuznetsova, T.Y., Solovyova, N.V., Solovyov, V.V., & Kostenko, V.O. (2017). Antioxidant activity of melatonin and glutathione interacting with hydroxyl and superoxide anion radicals. *Ukr. Biochem. J.* 89 (6), 22–30. <https://doi.org/10.15407/ubj89.06.022> [in English].

Levy, E., Delvin, E., Marcil, V., & Spahis, S. (2020). Can phytotherapy with polyphenols serve as a powerful approach for the prevention and therapy tool of novel coronavirus disease 2019 (COVID-19) *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 319, (4), E689–E708. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00298.2020> [in English].

Lushchak, V.I. (2015). Free radicals, reactive oxygen species, oxidative stresses and their classifications. *Ukr. Biochem. J.* 87 (6), 11–18. <https://doi.org/10.15407/ubj87.06.011> [in English].

Opeida, I.A., Sheparovych, R.B., Hrynda, Y.M., Khavunko, O.Y., Kompanets, M.O., & Shendryk, A.N. (2019). Kinetics of oxidation of benzyl alcohols with molecular oxygen catalyzed by N-hydroxyphthalimide: Role of hydroperoxyl radicals. *Int. J. Chem. Kinet.* 51 (9), 679–688. <https://doi.org/10.1002/kin.21287> [in English].

Parasuraman, S., & Maithili, K.S. (2014). Antioxidant and drug metabolism. *Free Rad Antiox.* 4 (1), 01–02. <https://doi.org/10.5530/fra.2014.1.1> [in English].

Shadyro, O., Samovich, S., Edimecheva, I., Novitsky, R., Khrutskin, V., Ihnatovich, L., & Dubovik, B. (2021). Potential role of free-radical processes in biomolecules damage during COVID-19 and ways of their regulation. *Free Radic. Res.* P. 1–27. <https://doi.org/10.1080/10715762.2021.1938024> [in English].

Smith, M.B. (2016). *Organic Synthesis*. N.Y. *Academic Press*, 1083 p. [in English].

Solovyova, N.V., & Kuznetsova, T.Y. (2015). Quantum chemical modeling of antioxidant activity of glutathione interacting with hydroxyl-and superoxide anion radicals. *Ukr. Biochem. J.* 87 (2), 156–162 [in English].

Sparman A., & Thompson, K. (2017). Safety Profile and Effect on Libido of a Combined Bryophyllum pinnatum, Moringa oleifera and Vitamin C Phytotherapeutic Agent. *Free Rad Antiox.*, 7 (2), 156–159. <https://doi.org/10.5530/fra.2017.2.23> [in English].

Отримано: 25.07.2024

Прийнято: 12.08.2024





УДК 547.922.5+532.783  
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.10>

## СИНТЕЗ НОВИХ ФОСФОРВМІСНИХ ХОЛЕСТЕРИЛОВИХ ЕСТЕРІВ АЦИЛЮВАННЯМ ФОСФОНІЄВИХ СОЛЕЙ

В. В. Листван<sup>1</sup>, Н. В. Кусяк<sup>2</sup>, О. Ю. Кичкирук<sup>3</sup>

*Досліджувався процес ацилювання алкіліденфосфоранів, що містять різні функціональні групи у молекулах, залежність реакції від умов, середовища, характеру реагентів тощо. Вивчалась можливість введення у молекулу фосфоріліду залишку холестеролу та використання такої реакції для отримання нових холестерилвмісних похідних, що можуть мати практично цінні властивості (зокрема, як рідкі кристали), а також слугувати вихідними сполуками для подальшого отримання нових ненасичених похідних холестеролу з різними структурними фрагментами, зокрема, за реакцією Віттіга.*

*Досліджено взаємодію фосфорілідів з холестерилхлороформіатом, що призводить до утворення алкіліденфосфоранів з холестерилловим залишком, встановлено умови та особливості проходження цієї реакції в однофазній та двофазній системі, із застосуванням різних основ. Отримано низку нових ацильованих ілідів фосфору, що містять різні аліфатичні і ароматичні залишки, у тому числі фрагменти, притаманні деяким відомим біологічно активним сполукам. Показано, що проблема недостатньої стійкості деяких алкіліденфосфоранів може бути розв'язана застосуванням як вихідних сполук фосфонієвих солей, без проміжного виділення відповідних ілідів в індивідуальному стані. Для уникнення процесу переілювання реакцію проводили в присутності триетиламіну (однофазна система) чи натрій гідроксиду (двофазна система). Даний метод має істотні переваги перед відомими з літературних джерел, оскільки не вимагає застосування високої порівняно дорогих і складних у роботі реагентів, як металоорганічні сполуки, і знижує вимоги щодо техніки експерименту. Деякі з отриманих ацильованих ілідів фосфору містять структурні фрагменти, що роблять перспективними подальші дослідження їх біологічної активності. Характер поведінки деяких отриманих сполук вказує на утворення мезофази при плавленні, що свідчить про можливі рідкокристалічні властивості.*

**Ключові слова:** ілід, алкіліденфосфоран, фосфонієва сіль, ацилювання

<sup>1</sup> кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)  
e-mail: listvan@ukr.net  
ORCID: 0000-0002-8366-2813

<sup>2</sup> кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)  
e-mail: nkusyak@ukr.net  
ORCID: 0000-0002-0143-3399

<sup>3</sup> кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)  
e-mail: ranova\_o\_yu@ukr.net  
ORCID: 0000-0002-0558-1647

## SYNTHESIS OF THE NEW PHOSPHORUS CONTAINING CHOLESTERYL ESTERS BY ACYLATION OF PHOSPHONIUM SALTS

V. V. Lystvan, N. V. Kusiak, O. Yu. Kychkyruk

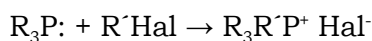
The process of acylation of alkylidenephosphoranes, which contain different functional groups in molecules, the dependence of the reaction on the conditions, the pH level, the nature of the reagents etc have been investigated. The possibility of introducing of cholesterol fragment into the ylid molecule and application of the reaction for obtaining of the new cholesterol-containing derivatives that can have practically valuable properties (particularly liquid crystals) and can be used as initial compounds for further obtaining of new unsaturated cholesterol derivatives with extended structural fragments have been investigated. The interaction of phosphorylides with cholesteryl chloroformate, which leads to the formation of alkylidene phosphoranes with a cholesteryl fragment have been studied, conditions and features of this reaction in one-phase and two-phase systems, with application of the different bases, have been established. A number of new acylated phosphorus ylides containing various aliphatic and aromatic structural fragments, including ones of some known biologically active compounds have been obtained. It is shown that the problem of insufficient stability of some alkylidenephosphoranes can be solved by application of phosphonium salts as initial compounds without intermediate isolation of the corresponding ylides in the individual state. To avoid the re-ylidation process, the reaction was carried out in the presence of triethylamine (one-phase system) or sodium hydroxide (two-phase system). This method has significant advantages over those known from literary sources as it does not require an application of such expensive and exigent for experimental conditions reagents as organometallic compounds. Some of the obtained acylated phosphorus ylides contain structural fragments, which make further studies of their biological activity promising. The behavior of some obtained compounds indicates the formation of a mesophase during melting, that can be a sign of liquid crystal properties.

**Key words:** ylid, alkylidenephosphorane, phosphonium salt, acylation.

### Вступ

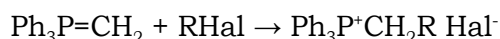
**Фосфонієві солі.** Фосфонієві солі можуть бути окреслені як похідні катіону фосфонію  $\text{PH}_4^+$ , але один або декілька атомів Н заміщені на алкільні, алкоксильні, ацильні, аромільні тощо групи.

Для отримання фосфонієвих солей найчастіше застосовується алкілування чи арилювання третинних фосфінів відповідними галогенопохідними, хоча даний процес може ускладнюватись побічними нуклеофільними процесами за наявності алкілгалогенідів електроноакцепторних груп.

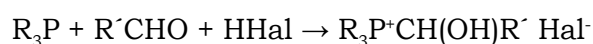


Кватернізація третинних фосфінів відбувається у безводному середовищі.

Фосфонієві солі можна також отримувати з фосфорілідів, зокрема, приєднанням до них алкілгалогенідів, хоча частіше вони навпаки слугують вихідними речовинами для отримання відповідних ілідів.

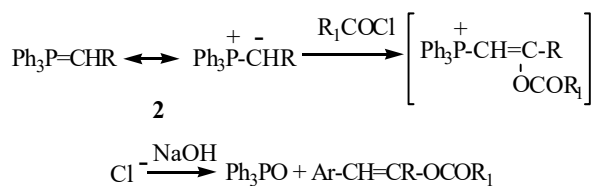
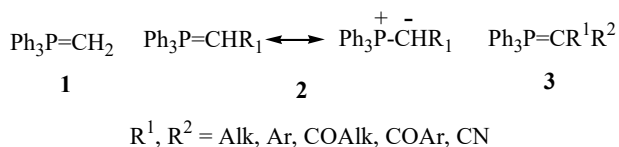


Фосфонієві солі, що містять гідроксильні групи в  $\alpha$ -положенні, можуть бути отримані з фосфінів та альдегідів у присутності кислот:



Фосфонієві солі відзначаються досить високою і різнобічною хімічною активністю, зокрема, завдяки здатності фосфору до утворення пентакоординованих перехідних комплексів, чому сприяє його великий атомний радіус і можливість участі d-орбіталей. Це дає змогу активно їх використовувати в органічному синтезі (Noroosi-Shad et al., 2022). Даний клас сполук використовують, зокрема, для отримання ілідів фосфору, що в свою чергу можуть слугувати напівпродуктами для отримання алкенів. Фосфонієві солі використовують також у виробництві інсектицидів і фунгіцидів. Деяким із них притаманна також корисна фізіологічна дія, зокрема антимікробна активність (Nunes et al., 2024).

**Алкіліденфосфорани.** Алкіліденфосфорани, які ще називають фосфорілідами чи метиленфосфінами) – сполуки, що містять подвійний зв'язок  $\text{P}=\text{C}$ . Для отримання цих сполук можна також використовувати третинні фосфіни, однак більш розповсюджений метод ґрунтуються на відщепленні гідрогенгалогенідів від фосфонієвих солей під дією основ. Характер зв'язку  $\text{P}=\text{C}$  наближається до семіполярного, електронна густина значною мірою зсунута від атома Фосфору до ілідного атома Карбону.



Практичне значення мають переважно похідні триарилфосфінів, передусім трифенілфосфіну як найбільш доступні.

Досить висока реакційна здатність даних сполук, і, зокрема, активність щодо електрофільних реагентів, значною мірою зумовлена негативним зарядом на ілідному атомі Карбону. Деякі із сполук 1–3 з алкільними чи арильними замісниками відзначаються чутливістю щодо вологи і кисню, тому, замість виділення в індивідуальному стані, їх отримують безпосередньо перед подальшим використанням в сухій інертній атмосфері. Наявність електроноакцепторних груп ( $\text{COR}^1$ ,  $\text{COOR}^2$ ,  $\text{CN}$ ), що відтягують негативний заряд від ілідного атома Карбону, знижує хімічну активність алкіліденфосфоранів. Такі сполуки є стійкими і можуть бути виділені та зберігатись за звичайних умов, і навіть виробляються промислово як реактиви (зокрема,  $\text{Ph}_3\text{P}=\text{CH}-\text{CO}-\text{CH}_3$ ,  $\text{Ph}_3\text{P}=\text{CH}-\text{COPh}$ ,  $\text{Ph}_3\text{P}=\text{CH}-\text{COOEt}$  тощо).

З усіх хімічних властивостей ілідів фосфору найширше практичне застосування в органічному синтезі набула їх реакція з карбонільними сполуками (передусім альдегідами), відома як реакція Віттіга, що дає змогу отримувати ненасичені сполуки. Цій темі присвячена досить велика кількість публікацій (Takeda, 2004; Karanam, 2018).

Згадана реакція досі залишається ефективним лабораторним методом отримання заміщених алкенів (Heravi et al., 2020), а для деяких похідних природним сполук (стероїдів, каротиноїдів) може бути єдино придатною (Freidzon, 1982).

Деяко рідше вживаною в лабораторній практиці є здатність цього класу сполук до взаємодії з іншими електрофілами, зокрема ацилгалогенідами. Таке ацилювання може відбуватись по-різному залежно від будови іліду і хлорангідриду і може бути використане для подальшого отримання алкінів, аленів, естерів енолів тощо.

Застосування значного надлишку ацилгалогеніду, у співвідношенні 3:1 щодо кількості фосфонієвої солі, в умовах міжфазного каталізу призводить до подальшого ацилювання, при цьому в ролі активного центру далі виступає атом Оксигену.

Утворені при цьому *O*-ацильовані фосфонієві солі в лужному середовищі розще-

плюються з участю зв'язку P-C, утворюючи естери енолів.

Наявність електроноакцепторних замісників в *a*-положенні алкіліденового залишку помітно підвищує стійкість іліду щодо гідролізу.

*Естери холестеролу.* Сполуки, що містять холестероловий фрагмент, і, зокрема, естери холестеролу, становлять окрему і досить велику групу рідких кристалів (так звані холестеріки). Специфічна структура (Abell et al., 1982), (Stoddart, 1979) і своєрідні оптичні властивості холестеріків, зокрема їх незвично висока оптична активність (Zhang et al., 2021), а також залежність забарвлення від температури (Barton & Ollis, 1979) робить їх не лише цікавими об'єктами наукового дослідження, а й матеріалами, що дістали широке застосування у різних галузях техніки (Guo et al., 2023), медицини (Scarangella et al., 2020), біології (Huang et al., 2021) тощо. Раніше нами показана (Листван та ін., 2022) можливість застосування реакції Віттіга для одержання естерів холестеролу та ненасичених кислот з потенційними рідкокристалічними властивостями. Для цього ми вводили в реакцію з фосфонієвими солями різні типи альдегідів; реакція відбувалась із проміжним утворенням ілідів фосфору без виділення останніх індивідуальному стані. Однак вагоме практичне значення похідних холестеролу спонукає до пошуку нових методів їх одержання, а також синтезу вихідних сполук, які можуть бути використані для подальшого перетворення у нові похідні холестеролу за вже відомими методами.

### Матеріал і методи

Дана робота присвячена дослідженню взаємодії різних ілідів фосфору з холестерилхлороформіатом залежно від умов та вивченню можливості використання такої реакції для отримання нових холестерилвмісних похідних, що можуть мати практичне значення і самі по собі (як потенційні рідкі кристали), і як напівпродукти для подальшого отримання нових похідних холестеролу з різними структурними фрагментами, зокрема, за реакцією Віттіга.

### Результати та їх обговорення

Метою роботи було дослідження реакції фосфорілідів з холестерилхлороформіатом, синтез алкіліденфосфоранів з холестериловим залишком, встановлення умов та особливостей проходження цієї реакції в однофазній системі (хлороформ у присутності триетиламіну) та двофазній системі (CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> – 50% водний розчин NaOH).

Нами було проведено низку реакцій між названим ацилгалогенідом і різними фосфонієвими солями, що містять різні аліфа-

тичні і ароматичні залишки, у тому числі фрагменти, притаманні деяким відомим біологічно активним сполукам.

Недостатня стійкість деяких алкіліденфосфоранів спонукала застосувати описаний раніше (Листван та ін., 2022) метод, що полягає на застосуванні як вихідних сполук фосфонієвих солей, без проміжного виділення відповідних ілідів в індивідуальному стані.

Реакція в однофазній системі відбувається за схемою:

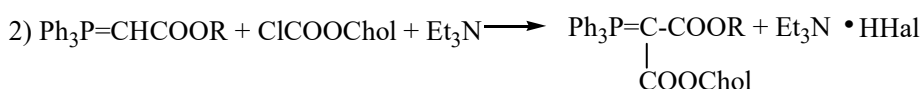
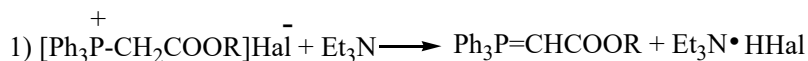


Схема реакції у двофазній системі:



Взаємодія фосфоранів з хлорангідридом йде за типом переїдування й половина взятого в реакцію фосфорану повертається у вигляді фосфонієвої солі. Саме для уникнення цього реакцію проводили в присутності триетиламіну (однофазна система) чи натрій гідроксиду (двофазна система), що як основи зв'язують HCl чи HBr. Перевагою даного методу є доступність реагентів і простота проведення синтезу, оскільки описані в літературі реакції даного типу із застосуванням алкоголятів або металоорганічних сполук (феніллітій чи бутиллітій) висуває дуже жорсткі вимоги до осушування розчинників і навіть застосування інертної атмосфери.

З'ясувалось, що для одержання ілідів із солей достатньо таких основ як луки, з якими безумовно зручніше працювати, ніж з чутливими до вологи алкоголями чи тим більше металоорганічними основами. Разом з тим, використання натрій гідроксиду дає можливість проводити ацилювання в одну стадію з використанням фосфонієвих солей без попереднього виділення з них алкіліденфосфоранів.

В умовах міжфазного каталізу легко ацилюються передусім ариаметилентрифенілфосфорани, що іноді називають напівстабільними чи «помірними» ілідами. Вони утворюються в органічній фазі при перемі-

шуванні фосфонійгалогенідів бензильного типу в CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> з 50-% водним розчином NaOH під дією іонів OH<sup>-</sup>, що переносяться в органічну фазу самим фосфоній-катионом. Тому в застосовуванні спеціального катализатора немає потреби. При додаванні до цього розчину ацилгалогеніду відразу розпочинається реакція ацилювання.

Вдалось також встановити, що в умовах МФК ароматичні хлорангідриди типу бензоїлхлориду чи близькі до нього за реакційною здатністю або більш активні легко ацилюють фосфорани і дають продукти з задовільним чи хорошим виходом. Дія хлорангідридів зі зниженою реакційною здатністю не призводить в цих умовах до утворення ацильованих фосфоранів. Це стосується, зокрема, і о-бромобензоїлхлориду через просторові затруднення, зумовлені наявністю атома бромову в о-положенні.

Хлорангідриди аліфатичних кислот також не дають ацильованих фосфоранів в умовах МФК або утворюють їх в незначних кількостях. Можливо, це пов'язано з великою їх розчинністю у водному середовищі. Ангідриди карбонових кислот та інші, менш активні порівняно з хлорангідридами ацилюючі засоби, не здатні ацилювати фосфоріліди в цих умовах. Стеричні фактори також ускладнюють реакцію ацилювання.

Важливим фактором у застосуванні цього методу є слабкість фосфонієвих солей в ролі основ, порівняно з натрій гідроксидом.

При проведенні реакції в однофазній системі послідовність процесів наступна: фосфонієву сіль та холестерилхлороформіат розчиняють у хлороформі і додають триетиламін як основу. Розчин залишають при кімнатній температурі на добу для остаточного завершення реакції. Після випаровування розчинника продукт реакції промивали і висушували, а далі очищували перекристалізацією з гептану, метанолу, 2-пропанолу тощо.

У випадку двофазної системи після розчинення еквімолярних кількостей фосфонієвої солі та холестерилхлороформіату в метиленхлориді до реакційної суміші додають розчин натрій гідроксиду. Суміш інтенсивно перемішували протягом однієї-двох годин та залишали при кімнатній температурі на добу для остаточного завершення реакції. Процедура виділення та очищення продукту реакції аналогічна до попередньо описаної.

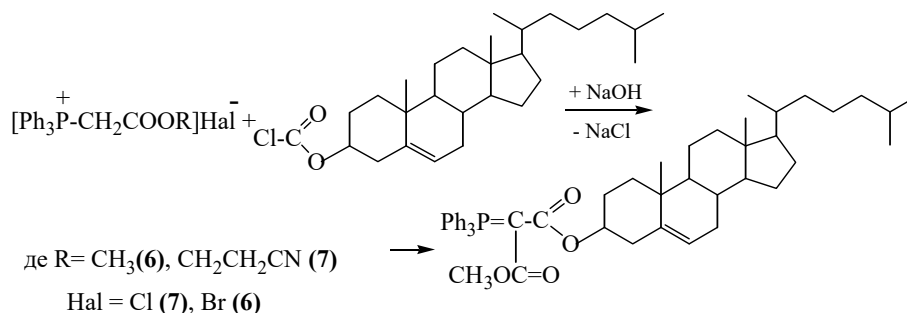
Багатостадійний процес ацилювання фосфонієвої солі з перетворенням її під дією триетиламіну чи натрій гідроксиду в ацильований фосфорилід дозволив отримати нові фосфориліди, що містять холестеринний залишок. Встановлено, що реакція повністю проходить протягом 1–2 днів при кімнатній температурі. В реакцію потрібно брати фосфонієву сіль, холестерилхлороформіат та основу в мольному співвідношенні 1:1:2.

Описані методики дозволили провести ефективно ацилювання фосфонієвих солей 4, 5 з естеровими групами у складі катіону. Вихідні солі отримували взаємодією трифенілфосфіну з естерами хлоро- чи бромової кислоти:



де Hal=Cl (5), Br (4); R= -CH<sub>3</sub> (4), -CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>-CN (5)

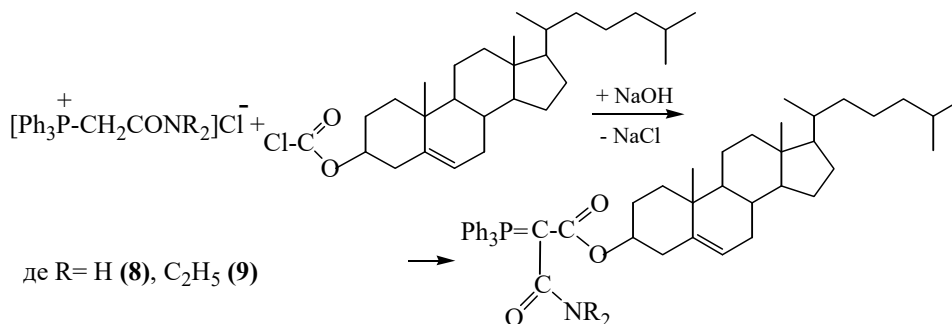
Їх реакція з холестерилхлороформіатом дозволила отримати ацильовані фосфорани 6, 7.



Будова фосфорилідів 6 та 7 підтверджена даними ІЧ-спектроскопії (рис. 1).

Амідні групи, як і естерові, активують фосфонієву сіль достатньою мірою для про-

тікання реакцій ацилювання в аналогічних умовах, що дозволило на основі фосфонієвих солей з незаміщеною та заміщеною амідними групами 8, 9:



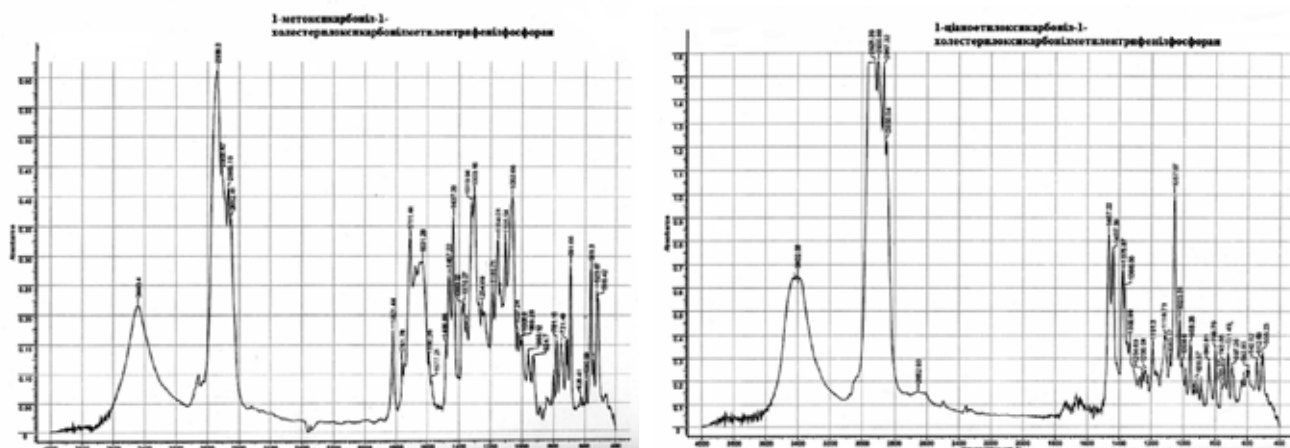
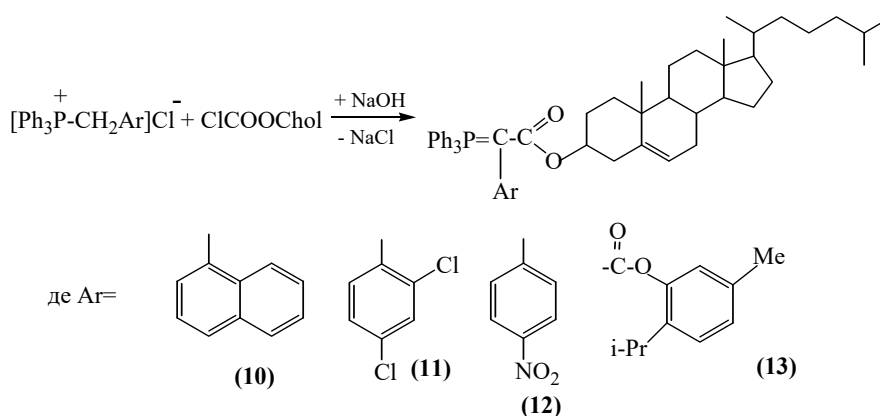


Рис. 1. ІЧ-спектр фосфоридів 6, 7

Слід відзначити, що характер плавлення фосфорана 8 вказує на утворення мезофази, що свідчить про наявність у сполуки рідкокристалічних властивостей (Sykes, 1996).

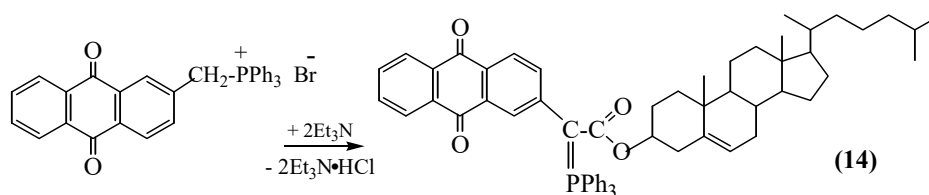
Наступні використані нами фосфонієві солі бензильного типу виявилось неможливим ацилювати в умовах однофазної системи, оскільки основність триетиламіну недостатня для перетворення цих солей у відповідні фосфорани.



Проведені перетворення дозволили отримати фосфорани 10–13 з ароматичними залишками, у тому числі залишок терпеноїду тимоли, що дає підстави прогнозувати наявність біологічної активності отриманого

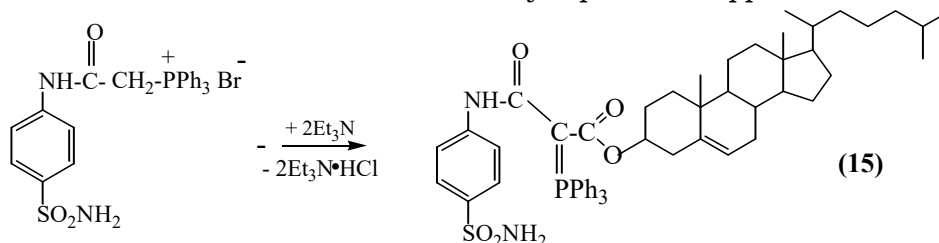
іліду 13. Будова останнього підтверджена даними ІЧ-спектроскопії (рис. 2).

Окремо слід відзначити отримання фосфорану 14, що містить залишок антрахінону:



Речовина 14, як і багато інших похідних холестеролу, плавиться з утворенням мезофази.

Нами отримано також ілід фосфору 15, що містить, окрім холестерилового, ще і сульфамідний фрагмент:



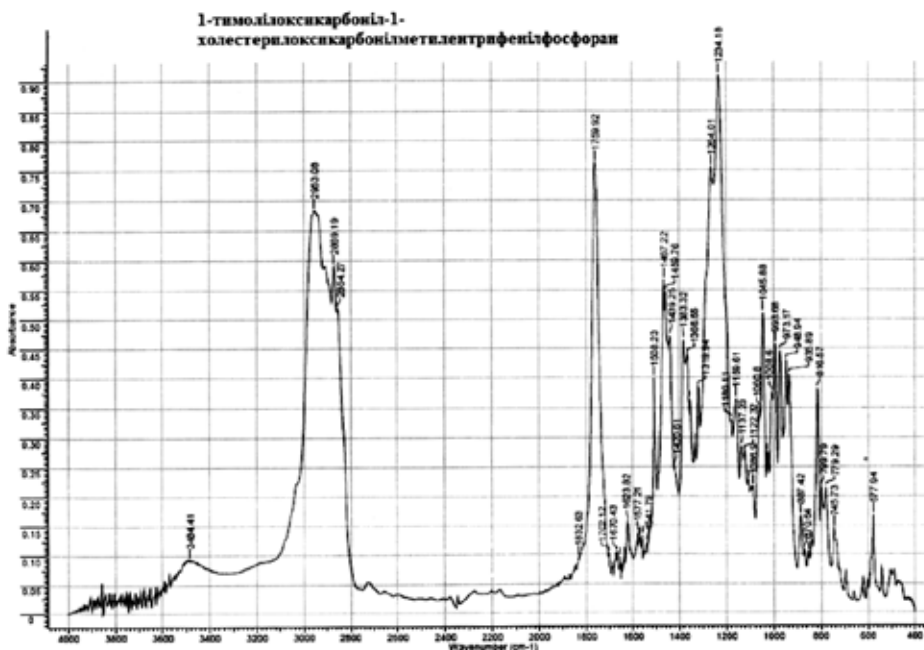


Рис. 2. ІЧ-спектр фосфоріду 13.

Оскільки аміди сульфанілової кислоти становлять окремих і широко відомий клас антимікробних препаратів, наявність відповідного структурного фрагменту в складі молекули робить перспективними подальші дослідження отриманої сполуки з огляду на їх можливу антибактеріальну активність.

*Експериментальна частина*

*1-метоксикарбоніл-1-олестерил-оксикарбонілметилентрифенілфосфоран (6),*

Мг-747; m – 2,29 г; Тпл 169°; η – 93%  
n(ФС) =0,002 моль; n(Ххф)=0,002 моль

0,74 г фосфонієвої солі та 0,9 г холестерилхлороформіату розчинили у 15мл метиленхлориду, додали 2 мл 1н розчину натрій гідроксиду, спостерігали пожовтіння розчину. Реакційну суміш залишили на 24 год при кімнатній температурі, після чого відділили органічний шар, промили, випарували. Продукт кристалізували з метанолу. Утворилась біла кристалічна речовина, будову якої було досліджено за допомогою інфрачервоної спектроскопії.

*1-ціаноетил-оксикарбоніл-1-холестерил-оксикарбонілметилентрифенілфосфоран (7)*

Мг - 786; m – 0,7 г; Тпл 140-149°; η – 80%  
n(ФС) =0,002 моль; n(Ххф)=0,002 моль

Методика отримання аналогічна реч. 6

*1-амінокарбоніл-1-холестерил-оксикарбонілметилентрифенілфосфоран (8)*

m – 0,4г; Тпл 210-215°; η – 60%

n(ФС) =0,002 моль n(Ххф)=0,002 моль

В конічну колбу до 1,07 г фосфонієвої солі та 1,5 г холестерилхлороформіату додали 20 мл метиленхлориду. Після додавання 3 мл 1н розчину натрій гідроксиду відбулось розчинення ФС. Розчин залишили при кімнатній температурі на 24 год. Після випаровування розчинника та промивання продукт очищували перекристалізацією з 2-пропанолу,

*1-діетил-амінокарбоніл-1-холестерил-оксикарбонілметилентрифенілфосфоран (9)*

Мг – 788.1; m – 0,25 г; Тпл 150°; η – 77%

n(ФС) =0,002 моль; n(Ххф)=0,002 моль

0,82 г фосфонієвої солі та 0,9 г холестерилхлороформіату розчинили в 15 мл метиленхлориду з доданням 2 мл 1 н розчину натрій гідроксиду. Суміш залишили на добу в закритій колбі. Після промивання органічного шару розчинник випарували, продукт промили водою, висушили та перекристалізували з пропанолу.

*1-арил-1-холестерил-оксикарбонілметилентрифенілфосфорани (10–12),*

*1-тимолілоксикарбоніл-1-холестерил-оксикарбонілметилентрифенілфосфоран (13)*

До суспензії 0,002 моль фосфонієвої солі та 0,002 моль холестерилхлороформіату в 15 мл метилхлориду додавали при перемішуванні 2 мл 1н розчину NaOH. Утворення продукту реакції супроводжувалось появою інтенсивного забарвлення, від жовтого до червоно-оранжевого. Реакційну суміш перемішували протягом 2 год, розчинник випаровували, сирий продукт очищували перекристалізацією з метанолу.

*1-(1-нафтил)-1-холестерилкарбонілметилентрифенілфосфоран (10)*

Mr – 815; m – 0,25 г; T<sub>пл</sub> 145°; η – 77%

n(Фс) = 0,002 моль; n(Ххф) = 0,002 моль

*1-(2,4-дихлорофеніл)-1-холестерилкарбонілметилентрифенілфосфоран (11)*

Mr – 834; m – 0,45 г; T<sub>пл</sub> 145°; η – 87%

*1-(4-нітрофеніл)-1-холестерилкарбонілметилентрифенілфосфоран (12)*

Mr – 809,9; m – 0,31 г; T<sub>пл</sub> 188°; η – 57%

*1-тимолілоксикарбоніл-1-холестерилкарбонілметилентрифенілфосфоран (13)*

Mr – 865,1; m – 0,56 г; T<sub>пл</sub> 142°; η – 72%

*1-(2-антрахіноніл)-1-холестерилкарбонілметилентрифенілфосфоран (14)*

Mr – 895; m – 0,66 г; T<sub>пл</sub> 251-255°; η – 47%

n(Фс) = 0,002 моль; n(Ххф) = 0,002 моль

1,13 г фосфонієвої солі та 0,9 г холестерилхлороформіату розчинили в 25 мл хлороформу, після додавання 2 мл триетиламіну утворився темно-зелений розчин, який залишили на 2 доби при кім-

натній температурі. Жовтий драглистий осад відфільтрували та висушили. Після перекристалізації з 2-пропанолу отримали 0,66 г продукту.

*1-(4-амідосульфаниламінокарбоніл)-1-холестерилкарбонілметилентрифенілфосфоран (15)*

Mr – 887; m – 1,66 г; T<sub>пл</sub> 315°; η – 97%

n(Фс) = 0,002 моль; n(Ххф) = 0,002 моль

Синтез проводили в однофазній системі. 1,11 г фосфонієвої солі та 0,9 г холестерилхлороформіату розчинили в 15 мл хлороформу і додали 2 мл триетиламіну; реакційний розчин залишили на 24 год при кімнатній температурі. Після випаровування розчинника осад очищували перекристалізацією.

### Висновки

Досліджено реакцію ацилювання алкіліденфосфоранів дією холестерилхлороформіату. Показано перевагу двофазного синтезу, що забезпечує кращий вихід продукту і вищу швидкість реакції.

Синтезовано низку нових сполук, що поєднують функцію естерів холестеролу з фрагментом ацильованих алкіліденфосфоранів та іншими функціональними групами.

З'ясовано, що безпосередня взаємодія між фосфонієвими солями та ацилюючими реагентами у присутності основ дозволяє уникнути проміжного виділення відповідних ілідів, скоротивши процес до однієї стадії.

Показано, що деякі отримані ацильовані алкіліденфосфорани при плавленні схильні до утворення мезофази, що може свідчити про наявність у них рідкокристалічних властивостей.

### 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>.
- Abell A.D., Doyle I.R., Massy-Weslopp R.A. The Wittig Reaction with Glutaric and Succinic Anhydrides. *Aust. J. Chem.* 1982. V. 35. P. 2277–2287. <https://doi.org/10.1071/CH9822277>.
- Comprehensive organic chemistry. Edited by Sir D. Barton and W. D. Ollis. Pergamon, Oxford, England. 1979. 1227 p. <https://doi.org/10.1002/jps.2600690651>.
- Freidzon J.S., Kharitonov A.V., Shibaev V.P., Plate N.A. Liquid-Crystalline State of Cholesterol-Containing Monomers. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 1982. V. 88. № 1/4. P. 87–97. <https://doi.org/10.1080/00268948208072588>.
- Guo M. (Ed.) Cellulose-derived cholesteric liquid crystal: Towards smart and sustainable colorimetric sensors. *Ind. Crop. Prod.* 2023. V. 192. P.116007. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116007>.
- Heravi M.M., Zadsirjan V., Daraie M., Ghanbarian M. Applications of Wittig Reaction in the Total Synthesis of Natural Macrolides. *Chemistry Select.* 2020. V. 5. I. 31. P. 9654-9690. <https://doi.org/10.1002/slct.202002192>.



Huang R. (Ed.) Remotely Controlling Drug Release by Light-Responsive Cholesteric Liquid Crystal Microcapsules Triggered by Molecular Motors. *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2021. V. 49. I. 13. P. 59221–59230. <https://doi.org/10.1021/acscami.1c16367>.

Karanam P., Reddy G.M., Lin W. Strategic exploitation of the Wittig reaction: Facile synthesis of heteroaromatics and multifunctional olefins. *Synlett*. 2018. V. 29 (20). P. 2608–2622. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1610486>.

Noroozi-Shad N., Gholizadeh M., Sabet-Sarvestani H. Quaternary phosphonium salts in the synthetic chemistry: Recent progress, development, and future perspectives. *J. Mol. Struct.* 2022. P. 1257. 132628. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2022.132628>

Nunes B. (Ed.) Antimicrobial activity and cytotoxicity of novel quaternary ammonium and phosphonium salts. *J. Mol. Liq.* 2024. V. 401. P. 124616. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2024.124616>.

Scarangella A., Soldan V., Mitov M. Biomimetic design of iridescent insect cuticles with tailored, self-organized cholesteric patterns. *Nat. Commun.* 2020. V. 11. P. 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17884-0>.

Oxygen-Containing compounds. Edited by Stoddart J.F. Comprehensive organic chemistry. Pergamon, Oxford, England. 1979. <https://doi.org/10.1002/jps.2600690651>.

Sykes P. Guidebook to Mechanism in Organic Chemistry. 6<sup>th</sup> edition. Pearson Education, 1996. 428 p.

Takeda T. Modern carbonyl olefination-methods and applications. *Synthesis*. 2004. V. 09. P. 1532–1532.

Zhang W. (Ed.) Temperature Responsive Photonic Devices Based on Cholesteric Liquid Crystals. *Adv. Photonics. Res.* 2021. V. 2. I. 7. <https://doi.org/10.1002/adpr.202100016>.

## References

Lystvan, V.V., Zhmurchuk, A.V., & Lystvan, V.M. (2022). Syntez potentsiynych ridkych krystaliv z kholesterylovym frahmentom za reaktsiyeyu Vittiha [Synthesis of potential liquid crystals with cholesteryl fragment by Wittig reaction]. *Ukrayinskyj zhurnal pryrodnychuyh nauk [Ukrainian journal of natural sciences]*, 2, 143–154. <https://doi.org/10.35433/naturaljournal.2.2023.144-154> [in Ukrainian].

Abell, A.D., Doyle, I.R., & Massy-Weslropp, R.A. (1982). The Wittig Reaction with Glutaric and Succinic Anhydrides. *Aust. J. Chem*, 35, 2277–2287. <https://doi.org/10.1071/CH9822277> [in English].

Comprehensive organic chemistry. (1979). Edited by Sir D. Barton and W.D. Ollis. Pergamon, Oxford, England. <https://doi.org/10.1002/jps.2600690651> [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> [in English].

Guo, M. (Ed.) (2023). Cellulose-derived cholesteric liquid crystal: Towards smart and sustainable colorimetric sensors. *Ind. Crop. Prod*, 192, 116007. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116007> [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].

Huang, R. (Ed.) (2021). Remotely Controlling Drug Release by Light-Responsive Cholesteric Liquid Crystal Microcapsules Triggered by Molecular Motors. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 49 (13), 59221–59230. <https://doi.org/10.1021/acscami.1c16367> [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].

Noroozi-Shad, N., Gholizadeh, M., & Sabet-Sarvestani, H. (2022). Quaternary phosphonium salts in the synthetic chemistry: Recent progress, development, and future perspectives. *J. Mol. Struct*, 1257, 132628. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2022.132628> [in English].

Nunes, B., Cagide, F., Borges, F., & Simões, M. (2024). Antimicrobial activity and cytotoxicity of novel quaternary ammonium and phosphonium salts. *J. Mol. Liq*, 401, 124616. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2024.124616> [in English].

Scarangella, A., Soldan, V., & Mitov, M. (2022). Biomimetic design of iridescent insect cuticles with tailored, self-organized cholesteric patterns. *Nat. Commun*, 11, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17884-0> [in English].

Oxygen-Containing compounds. (1979). Edited by Stoddart J.F. *Comprehensive organic chemistry*. Pergamon, Oxford, England. <https://doi.org/10.1002/jps.2600690651>. [in English].

Sykes, P. (1996). *Guidebook to Mechanism in Organic Chemistry*. 6<sup>th</sup> edition. Pearson Education [in English].

Takeda, T. (2004). Modern carbonyl olefination-methods and applications. *Synthesis*, 09, 1532–1532 [in English].

Zhang, W. (Ed.) (2021). Temperature Responsive Photonic Devices Based on Cholesteric Liquid Crystals. *Adv. Photonics. Res*, 2 (7). <https://doi.org/10.1002/adpr.202100016> [in English].

Отримано: 12.06.2024

Прийнято: 09.08.2024



УДК 543.42+628.16  
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.11>

## ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ МЕТОДОМ АТОМНО-ЕМІСІЙНОЇ СПЕКТРОМЕТРІЇ

К. А. Нестерова<sup>1</sup>, О. І. Хижан<sup>2</sup>, А. Г. Галстян<sup>3</sup>

Регулярний моніторинг елементного складу водних ресурсів є необхідним для підтримки екологічного балансу та охорони навколишнього середовища. Забруднення води важкими металами перетворилося на глобальну проблему, особливо небезпечну через їх токсичність для живих організмів навіть у надзвичайно низьких концентраціях. Тому ефективне та надійне виявлення важких металів у навколишній воді є дуже важливим. Дослідження проведено в Українській лабораторії якості і безпеки продукції АПК НУБіП України, акредитованій за стандартом ДСТУ ISO/IEC 17025. Метою дослідження було визначення вмісту хімічних елементів, включаючи важкі метали, у водних зразках з різних джерел Київської області для оцінки їх якості та відповідності нормативним стандартам. Одним із сучасних методів, який використовувався для якісної і кількісної оцінки вмісту хімічних елементів, включаючи важкі метали, є атомно-емісійна спектроскопія з індуктивно-зв'язаною плазмою (ICP-AES). Цей метод характеризується високою чутливістю, точністю та оперативністю, що робить його придатним для аналізу неорганічних речовин у водних зразках. На основі порівняльного аналізу елементного складу зразків води зроблено наступні висновки, що концентрації кобальту (Co), кадмію (Cd), свинцю (Pb), нікелю (Ni), хрому (Cr) та міді (Cu) у зразках води є незначними. Це свідчить про те, що рівень цих іонів металів у воді є допустимим і не виходить за межі нормативних значень. Згідно проведених аналізів, концентрації цинку (Zn), мангану (Mn), молибдену (Mo), арсену (As), вісмуту (Bi) та ртуті (Hg), також є в межах встановлених нормативів. Результати дослідження показують, що водні об'єкти Київської області знаходяться у стабільному стані з точки зору вмісту важких металів. Постійний контроль дозволяє своєчасно виявляти та реагувати на можливі зміни у складі води, запобігаючи негативним наслідкам для екосистем та здоров'я населення.

**Ключові слова:** важкі метали, вода, елементний склад, забруднення.

<sup>1</sup> аспірант кафедри загальної, органічної та фізичної хімії  
(Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ)  
e-mail: nesterova.katarzyna@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-4081-4570

<sup>2</sup> доцент кафедри загальної, органічної та фізичної хімії  
(Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ)  
e-mail: olenakhzyzhan@nubip.edu.ua  
ORCID: 0000-0002-2986-3251

<sup>3</sup> завідувач кафедри загальної, органічної та фізичної хімії  
(Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ)  
e-mail: aggaalst@nubip.edu.ua  
ORCID: 0000-0001-8475-8166

## DETERMINATION OF THE ELEMENTAL COMPOSITION OF WATER BODIES OF THE KYIV REGION BY THE METHOD OF ATOMIC EMISSION SPECTROMETRY

**K. A. Nesterova, O. I. Khyzhan, A. G. Galstyan.**

*Regular monitoring of the elemental composition of water resources is necessary to maintain the ecological balance and protect the environment. Water pollution by heavy metals has become a global and particularly serious problem due to toxicity to living organisms even at very low concentrations. Therefore, effective and reliable detection of heavy metals in ambient water is very important. The study was conducted in the Ukrainian Laboratory of Quality and Safety of Agricultural Products of the NUBiP of Ukraine, accredited according to the DSTU ISO/IEC 17025 standard. The purpose of the study was to determine the content of chemical elements, including heavy metals, in water samples from various sources in the Kyiv region to assess their quality and compliance with regulatory standards. One of the modern methods that has been used for the qualitative and quantitative assessment of the content of chemical elements, including heavy metals, is atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma (ICP-AES), which is characterized by high sensitivity, accuracy and responsiveness, which makes it suitable for the analysis of inorganic substances in water samples. Based on the comparative analysis of the elemental composition of the water samples, the following conclusions were drawn that the concentrations of cobalt (Co), cadmium (Cd), lead (Pb), nickel (Ni), chromium (Cr) and copper (Cu) in the water samples are negligible. This indicates that the level of these metal ions in the water is acceptable and does not exceed the normative values. According to the analyzes carried out, the concentrations of zinc (Zn), manganese (Mn), molybdenum (Mo), arsenic (As), bismuth (Bi) and mercury (Hg) are within the established standards. The results of the study show that the water bodies of the Kyiv region are in a stable state from the point of view of the content of heavy metals. Continuous monitoring allows timely detection and response to possible changes in water composition, preventing negative consequences for ecosystems and public health.*

**Key words:** *elemental composition, heavy metals, pollution, water.*

### **Вступ**

Посилення антропогенної діяльності призвело до забруднення водних об'єктів, що безумовно має значний вплив на водне біорізноманіття та призводить до дефіциту води. Не зважаючи на те, що хімічні речовини необхідні для нашого повсякденного життя, деякі з них становлять небезпеку для живих організмів. Точки надходження небезпечних речовин у поверхневі води включають сільське господарство, побутові скиди, промислові скиди, очисні споруди та атмосферні опади (через дощі і пил). Причому, сільське господарство є значним джерелом забруднення через використання пестицидів, гербіцидів та добрив, які змиваються дощем у річки і озера. Промислові скиди, що включають важкі метали, органічні речовини та інші шкідливі сполуки потрапляють у водні об'єкти під час виробничих процесів. Становити небезпеку можуть, навіть, атмосферні опади, що містять забруднюючі речовини з повітря, які також потрапляють у водні об'єкти. В зв'язку з цим, важливо впроваджувати ефективні заходи з моніторингу та контролю якості води з метою зменшення впливу забруднення на водні екосистеми і забезпечення безпеки водних ресурсів для майбутніх поколінь.

У Європейському Союзі діють Рамкова водна директива (2000/60/EC) (WFD), Директива про стандарти якості навколишнього середовища (2008/105/EC) (EQSD) та її нещодавня редакція Директиви 2013/39/EU. Стандарти якості навколишнього середовища (EQS) включають 45 хімічних речовин у поверхневих водах (річках, озерах, перехідних і прибережних водах). Важкі метали, пестициди, поліароматичні вуглеводні, сполуки, хлоралкани, полібромовані біфенілові ефіри, а також діоксини та діоксиноподібні сполуки включені до цього списку (O'Hara et al., 2021). Все більше занепокоєння викликає можливість так званих «коктейльних ефектів», за яких суміші цих речовин та інших хімічних речовин, наприклад, природних солей і органічних сполук, взаємодіють, що призводить до утворення токсичних сумішей (Luoa et al., 2021; O'Hara et al., 2021).

Антропогенні зміни впливають на всі водні об'єкти, і в останні роки склад підземних вод також помітно змінився (Lase et al., 2021). Незважаючи на те, що підземні води відносно добре захищені від забруднення, в них все одно можуть міститися забруднюючі речовини, включаючи важкі метали, у значних кількостях. Дослідження

показали, що вміст заліза та цинку у воді перевищує рекомендовані величини, тоді як концентрації інших токсичних речовин значно нижчі від граничних параметрів. Зокрема, питна вода з досліджуваних колодязів у Київській області відноситься до II стадії забруднення (Шумигай та ін., 2021). Вченими (Грубінко та ін., 2021) описано дослідження по забрудненню антропонозованих водойм важкими металами, такими як залізо, кадмій, кобальт, марганець, мідь, ртуть, свинець, цинк тощо і встановлено, що вміст металів у воді має сезонні коливання. Збільшення вмісту важких металів пов'язане із вторинним забрудненням води в різні сезони року. Концентрація важких металів у донних відкладах часто перевищує фонову, що пригнічує процеси самоочищення у придонному шарі води. Метали, що містяться в кристалічній решітці мінералів, утримуються в донних відкладах найміцніше, тоді як метали, адсорбовані на поверхні частинок, утримуються найслабкіше. Високий вміст важких металів у мулі пов'язаний з формуванням комплексів з органічними речовинами природного походження навесні та із закінченням вегетаційного періоду взимку та восени, коли залишки організмів осідають на дно водойми, віддаючи біогенні елементи.

Дослідження (Гапій, 2023) водопровідної, криничної та води зі свердловин проводили в межах Львівської області. За підвищення рівня мінеральної частки у питній воді спостерігалось збільшення в ній концентрації важких металів – свинцю, кадмію, цинку та міді. Побутове доочищення питної води (криничної, зі свердловини та водопровідної) сприяло зниженню мінеральної її частки, що позитивно відобразилось і на зниженні в ній важких металів, зокрема, свинцю у 1,5–2,5 рази, кадмію у 1,6–2,0, цинку у 1,6–2,7 та міді у 1,9–3,0 рази.

Співіснування важких металів і органічних речовин у промислових стоках є серйозною проблемою, оскільки ці забруднювачі мають різний склад і властивості, що ускладнює їх ефективне видалення з води навіть застосуванням різноманітних технологій. Органічні сполуки та важкі метали часто існують у змішаній матриці у промислових відходах (Timothy et al., 2021). Було порівняно кілька потенційних матеріалів для процесу очищення і визначено, що тирса має хорошу структуру і придатна для процесів очищення води (Meez et al., 2021).

Дослідження (Lorena, 2021) демонструють адсорбційно-десорбційну поведінку важких металів у водних середовищах. Мінералогічний склад осади виявився найважливішим фактором, що впливає на ці процеси, через його вплив на питому поверхню та ємність катіонного обміну. Тверді частинки органічних речовин виявилися найбільш впливовими в адсорбції важких металів у річковому середовищі. Позитивна взаємозалежність між зв'язуванням іонів та вивільненням важких металів вказує на значний вплив катіонного обміну на рухливість цих металів у водних середовищах. Вміст токсичних металів у поверхневих водоймах було досліджено на різних континентах та оцінено їхні середні концентрації. Найвищі допустимі значення вмісту токсичних металів у питній воді, рекомендовані ВООЗ: Cr (5 мкг/л), Mn і Fe (1000 мкг/л), Co і Cd (100 мкг/л), Ni (70 мкг/л), Cu (3000 мкг/л), Zn (5000 мкг/л), As (50 мкг/л) і Hg (1 мкг/л). Серед проаналізованих токсичних металів найвища концентрація Fe виявлена в Азії, Pb – в Південній Америці, Mn – в Океанії (Kumar, 2024). Існує декілька методів визначення важких металів у водному середовищі, але методика індуктивно-зв'язаної плазмової мас-спектрометрії (ICP-MS), є ефективним інструментом для дослідження впливу токсичних елементів на якість води та забезпечення здоров'я людини (Yüksel et al., 2021). Індуктивно-зв'язана плазмова мас-спектрометрія (ICP-MS) є сучасним методом, що дозволяє визначати надзвичайно низькі концентрації елементів у водних зразках, забезпечуючи високу точність та надійність результатів (Сахно, 2023).

#### **Матеріал і методи**

Дослідження проводили в Українській лабораторії якості і безпеки продукції АПК НУБіП України, акредитованій за стандартом ДСТУ ISO/IEC 17025. Одним із сучасних методів, який використовувався для якісної і кількісної оцінки вмісту хімічних елементів, включаючи важкі метали, є атомно-емісійна спектрометрія з індуктивно-зв'язаною плазмою (ICP-AES). Цей метод характеризується високою чутливістю, забезпечує точне визначення вмісту елементів завдяки високій роздільній здатності та мінімальній втраті аналіту. Дозволяє проводити швидкі аналізи і отримувати результати майже в реальному часі. Підготовку проб для визначення елементного складу води проводили згідно з ДСТУ ISO 11885:2005 (ISO

11885:1996, IDT) «Якість води. Визначення 33 елементів методом атомно-емісійної спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою». Вимірювання елементного складу досліджуваних проб зразків води проводили на атомно-емісійному спектрофотометрі з індуктивно-зв'язаною плазмою, межа детектування більшості елементів складає 0,01 мг/дм<sup>3</sup>. В якості стандарту використовували багатоелементний стандартний розчин IV від Mercks KGaA, Німеччина.

#### Результати та їх обговорення

Метою даного дослідження є вивчення елементного складу зразків проб води водоем регіону Київської області. В роботі проведено визначення вмісту елементів у водних зразках методом ICP-AES. Особливе значення для визначення концентрацій має використання методу ICP, який входить в декілька стандартів як ДСТУ, так і США, який характеризується високою чутливістю, точністю та здатністю одночасного визначення багатьох елементів. Досліджено вміст елементів (Ag, Al, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, Tl, Zn, Be, Mo, Se, Ti, V, As, Hg, S, P) у водних зразках методом ICP-AES для оцінки рівня забруд-

нення та забезпечення екологічної безпеки. Зразки води фільтрували через мембранні фільтри для видалення зважених часток. Відфільтровані зразки піддавали кислотному розчиненню з використанням концентрованої нітратної кислоти для забезпечення повного розчинення елементів. Для калібрування приладу використовували серію стандартних розчинів з відомими концентраціями елементів. Калібрувальні розчини готували шляхом послідовного розведення багатоелементного стандартного розчину. Підготовлені зразки аналізували на приладі, де відбувається збудження атомів елементів. Збуджені атоми випромінюють світло з характеристичними довжинами хвиль, які детектуються спектрометром. Інтенсивність випромінювання пропорційна концентрації елементів у зразку. Отримані спектри аналізували за допомогою програмного забезпечення, яке порівнює інтенсивність сигналів з калібрувальною кривою для визначення концентрації елементів у зразках.

На основі порівняльного аналізу елементного складу зразків води, представлених у таблиці 1, можна зробити наступні висновки щодо вмісту важких металів, кобальту (Co),

Таблиця 1

Результати елементного аналізу зразків води Київської області регіону С

Хімічний елемент	Масова частка, мг/дм <sup>3</sup>	Розширена невизначеність	Межа детектування, мг/дм <sup>3</sup>
Кальцій, Ca	29,32	±6,26	0,01
Натрій, Na	21,22	±4,10	0,01
Магній, Mg	13,99	±2,91	0,01
Ферум, Fe	0,07	±0,05	0,01
Калій, K	6,92	±1,36	0,01
Стронцій, Sr	0,19	±0,05	0,01
Бор, B	0,07	±0,03	0,01
Барій, Ba	0,04	±0,01	0,01
Літій, Li	0,04	±0,01	0,01
Манган, Mn	0,014	±0,004	0,01
Алюміній, Al	<0,010	-	0,01
Цинк, Zn	<0,010	-	0,01
Хром, Cr	<0,010	-	0,01
Свинець, Pb	<0,010	-	0,01
Купрум, Cu	<0,010	-	0,01
Нікель, Ni	<0,010	-	0,01
Кобальт, Co	<0,010	-	0,01
Аргентум, Ag	<0,010	-	0,001
Бісмут, Bi	<0,010	-	0,01
Молібден, Mo	<0,010	-	0,01
Кадмій, Cd,	<0,001	-	0,001
Арсен, As,	<0,001	-	0,001
Селен, Se,	<0,001	-	0,001
Ртуть, Hg	<0,0005	-	0,0005

кадмію (Cd), свинцю (Pb), нікелю (Ni), хрому (Cr) та міді (Cu). Концентрації цих елементів у зразках води виявляються незначними. Це свідчить про те, що рівень цих іонів металів у воді є допустимим і не виходить за межі нормативних значень. Концентрації купруму (Cu), цинку (Zn) та мангану (Mn) є достатньо низькими і коливаються в межах не більше 0,011 мг/дм<sup>3</sup>.

Присутність цих мікроелементів у воді не перевищує допустимі рівні. Вміст молібдену (Mo), арсену (As), вісмуту (Bi) та ртуті (Hg) також знаходиться в межах норми, що свідчить про відсутність значного забруднення цими металами.

На основі результатів елементного аналізу води, представлених у таблиці 2, встановлено, що концентрації Co, Cd, Pb, Ni, Cr, Cu,

Таблиця 2

Результати елементного аналізу зразків води Київської області регіону D

Хімічний елемент	Масова частка, мг/дм <sup>3</sup>	Розширена невизначеність	Межа детектування, мг/дм <sup>3</sup>
Кальцій, Ca	32,43	±4,21	0,01
Натрій, Na	21,14	±3,75	0,01
Магній, Mg	11,59	±2,02	0,01
Ферум, Fe	0,08	±0,03	0,01
Калій, K	6,17	±1,47	0,01
Стронцій, Sr	0,27	±0,05	0,01
Бор, B	0,07	±0,03	0,01
Барій, Ba	0,04	±0,03	0,01
Літій, Li	0,04	±0,02	0,01
Марганець, Mn	0,015	±0,005	0,01
Алюміній, Al	<0,010	-	0,01
Цинк, Zn	<0,010	-	0,01
Хром, Cr	<0,010	-	0,01
Свинець, Pb	<0,010	-	0,01
Купрум, Cu	<0,010	-	0,01
Нікель, Ni	<0,010	-	0,01
Кобальт, Co	<0,010	-	0,01
Аргентум, Ag	<0,010	-	0,001
Вісмут, Bi	<0,010	-	0,01
Молібден, Mo	<0,010	-	0,01
Кадмій, Cd	<0,0010	-	0,001
Миш'як, As	<0,0010	-	0,001
Селен, Se	<0,0010	-	0,001
Ртуть, Hg	<0,0005	-	0,0005

Таблиця 3

Результати елементного аналізу зразків води Київської області регіону E

Хімічний елемент	Масова частка, мг/дм <sup>3</sup>	Розширена невизначеність	Межа детектування, мг/дм <sup>3</sup>
1	2	3	4
Кальцій, Ca	49,73	±10,07	0,01
Натрій, Na	25,25	±5,12	0,01
Магній, Mg	19,76	±4,19	0,01
Калій, K	13,94	±3,08	0,01
Ферум, Fe	1,73	±0,49	0,01
Стронцій, Sr	0,43	±0,17	0,01
Цинк, Zn	0,16	±0,12	0,01
Марганець, Mn	0,18	±0,06	0,01
Бор, B	0,12	±0,05	0,01
Літій, Li	0,06	±0,01	0,01
Алюміній, Al	0,05	±0,01	0,01
Барій, Ba	0,05	±0,01	0,01

Продовження таблиці 3

1	2	3	4
Хром, Cr	<0,010	-	0,01
Свинець, Pb	<0,010	-	0,01
Купрум, Cu, мг/дм <sup>3</sup>	<0,010	-	0,01
Нікель, Ni, мг/дм <sup>3</sup>	<0,010	-	0,01
Кобальт, Co	<0,010	-	0,01
Кадмій, Cd	<0,0010	-	0,01
Аргентум, Ag	<0,010	-	0,01
Вісмут, Bi	<0,010	-	0,01
Молібден, Mo	<0,010	-	0,01
Кадмій, Cd	<0,0010	-	0,001
Миш'як, As	<0,0010	-	0,001
Селен, Se	<0,0010	-	0,001
Ртуть, Hg	<0,0005	-	0,0005

As знаходяться в межах норми або виявляються в незначних кількостях. Це свідчить про те, що ці метали присутні у воді на безпечному рівні, не перевищуючи нормативних значень. Крім того, лабораторний контроль показав, що досліджувані проби води містять низькі концентрації мікроелементів. Концентрація купруму коливається в межах 0,01 мг/дм<sup>3</sup>, вміст цинку становить 0,01 мг/дм<sup>3</sup>, а концентрація мангану становить 0,011 мг/дм<sup>3</sup>.

Вміст Mo, Cd, As, Bi у воді також менше 0,01 мг/дм<sup>3</sup>. Це є позитивним показником якості води, оскільки такі концентрації відповідають допустимим нормам. Концентрація ртуті виявлена менше 0,005 мг/дм<sup>3</sup>, що відповідає нормативам і не є проблемою для якості водних ресурсів.

На основі досліджень елементного складу зразків води, представлених у таблиці 3, можна зробити наступні висновки щодо вмісту важких металів. Концентрації цих елементів у зразках води виявляються незначними. Це свідчить про те, що рівень цих іонів металів у воді є допустимим і не виходить за межі нормативних значень. Концентрації Cu, Zn, Mn є достатньо низь-

кими і коливаються в межах не більше 0,011 мг/дм<sup>3</sup>.

### Висновки

Результати дослідження елементного складу води показують, що водні об'єкти Київської області не мають значних забруднень важкими металами. Концентрації кобальту, кадмію, свинцю, нікелю, хрому, міді, купруму, цинку, мангану, молібдену, арсену, вісмуту та ртуті є прийнятними та відповідають встановленим нормативам. Це свідчить про стабільний стан водних ресурсів у регіоні та їхню придатність для використання без необхідності вжиття негайних заходів щодо зниження концентрацій цих металів.

Дослідження та моніторинг важких металів у водах Київської області є критично важливими для захисту довкілля та здоров'я населення. Отримані дані стануть основою для розробки ефективних заходів з контролю та зниження забруднення водних ресурсів, що сприятиме забезпеченню їхньої якості та безпеки для всіх видів використання. Продовження регулярного моніторингу якості води є важливим для підтримання екологічної стабільності та вчасного виявлення можливих змін у складі водних об'єктів.

### Список використаної літератури

- ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Київ: Міністерство охорони здоров'я України, 2010. 60 с.
- ДСТУ 7369:2013. Національний стандарт України. Стічні води. Вимоги до стічних вод і їхніх осадів для зрошування та удобрювання. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2014. 18 с.
- ДСТУ EN ISO 17294-2:2019. Якість води. Використання мас-спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою (ІЗП-МС). Частина 2. Визначення 62 елементів (EN ISO 17294-2:2016, IDT; ISO 17294-2:2016, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 40 с.
- ДСТУ ISO 17294-1:2015. Якість води. Застосування мас-спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою (ICP-MS). Частина 1. Загальні настанови (ISO 17294-1:2004, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 24 с.



Гапій О.А. Вплив рівня мінералізації питної води на концентрацію в ній важких металів. Львівський НУП, 2023. 59 с.

Грубінко В.В., Андрусишин Т.В., Ткач Н.М., Мадай І.І. Забруднення води Верхньо-Івачівського водозабору важкими. *Ternopil Biosci.* 2021. С. 63–75.

Сахно Т.В., Семенов А.О., Сахно Ю.Е. Показники якості води та їх вимірювання. *Якість та безпечність продукції у внутрішній і зовнішній торгівлі й торговельне підприємство: сучасні вектори розвитку і перспективи – 2023.* матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції. ПДАУ, 2023. С. 250–253.

Шумигай І.В., Єрмішев О.В., Манішевська Н.М. Екологічна оцінка забруднення важкими металами підземних вод Київщини. *Агроекологічний журнал.* 2021. № 1. С. 89–96. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2021.227244>.

ASTM D5673-16. Standard Test Method for Elements in Water by Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2016. 10 p.

Kumar A., Kumar V., Pandita S., Singh S., Bhardwaj R., Varol M., Rodrigo-Comino J. A global meta-analysis of toxic metals in continental surface water bodies. *J. Environ. Chem. Eng.* 2023. Vol. 11 (3). P.109964. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109964>.

Lace A., Cleary J.A. Review of Microfluidic Detection Strategies for Heavy Metals in Water. *Chemosensors.* 2023. Vol. 9. P. 60. <https://doi.org/10.3390/chemosensors9040060>.

Li Y., Huang H., Cui R., Wang D., Yin Z., Wang D., Zheng L., Zhang J., Zhao Y., Yuan H., Dong J., Gu X., Sun B. Electrochemical sensor based on graphdiyne is effectively used to determine Cd<sup>2+</sup> and Pb<sup>2+</sup> in water. *Sens. Actuators B Chem.* 2021. Vol. 332. P. 129519. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.129519>.

Lorena. M., Buddhi W., Godwin A., Prasanna E., Ashantha G. Water-sediment interactions and mobility of heavy metals in aquatic environments. *Water Res.* 2021. Vol. 202. P. 117386. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117386>.

Luoa P., Xu C., Kanga S., Huoa A., Lyua J., Zhoua M., Nover D. Heavy metals in water and surface sediments of the Fenghe River Basin, China: assessment and source analysis. *Water Sci. Technol.* 2021. Vol. 84. (10–11). P.3072. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.335>.

Meez E., Rahdar A., George Z. Kyzas Sawdust for the Removal of Heavy Metals from Water: A Review. *Molecules.* 2021. Vol. 26. P. 4318. <https://doi.org/10.3390/molecules26144318>.

O'Hara T., Singh B. Electrochemical Biosensors for Detection of Pesticides and Heavy Metal Toxicants in Water: Recent Trends and Progress. *ACS EST Water.* 2021. Vol. 1 (3). P. 462–478. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.0c00125>.

Timothy O., Opeyemi A., Oyewo D. Onwudiw Simultaneous removal of organics and heavy metals from industrial wastewater: A review. *Chemosphere.* 2021. Vol. 262. P. 128379. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128379>.

Yüksel B., Ustaoglu F., Arica E. Impacts of a Garbage Disposal Facility on the Water Quality of Çavuşlu Stream in Giresun, Turkey: A Health Risk Assessment Study by a Validated ICP-MS. *Assay Aquat. Sci. Eng.* 2021. Vol. 36 (4). P. 181–192. <https://doi.org/10.26650/ASE2020845246>.

## References

DSanPiN 2.2.4-171-10. (2010). Gigiyenichni vimogi do vodi pitnoyi, priznachenoyi dlya spozhivannya lyudinoyu [Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption]. Kyiv : Ministerstvo okhorony zdorov'ya Ukrayiny [in Ukrainian].

UkrNDNC. (2014). DSTU 7369:2013. Natsionalnyi standart Ukrainy. Stichni vody. Vymohy do stichnykh vod i yikhnikh osadiv dlya zroshuvannya ta udobryuvannya [DSTU 7369:2013 National Standard of Ukraine. Sewage. Requirements for wastewater and its sediments for irrigation and fertilization]. Kyiv : DP «UkrNDNC» [in Ukrainian].

UkrNDNC. (2019). DSTU EN ISO 17294-2:2019. Yakist vodi. Viktoristannya mas-spektrometriyi z induktivno-zv'yazanoyu plazmoyu (IZP-MS). Chastina 2. Vznachennya 62 elementiv (EN ISO 17294-2:2016, IDT; ISO 17294-2:2016, IDT) [DSTU EN ISO 17294-2:2019 Water quality. Using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Part 2. Definition of 62 elements (EN ISO 17294-2:2016, IDT; ISO 17294-2:2016, IDT)]. Kyiv : DP «UkrNDNC» [in Ukrainian].

UkrNDNC. (2015). DSTU ISO 17294-1:2015. Yakist vodi. Zastosuvannya mas-spektrometriyi z induktivno-zv'yazanoyu plazmoyu (ICP-MS). Chastina 1. Zagalni nastanovi (ISO 17294-1:2004, IDT) [DSTU ISO 17294-1:2015 Water quality. Application of inductively coupled plasma mass

spectrometry (ICP-MS). Part 1. General guidelines (ISO 17294-1:2004, IDT)]. Kyiv: DP «UkrNDNC» [in Ukrainian].

Gapij, O.A. (2023). Vpliv rivnya mineralizaciyi pitnoyi vodi na koncentraciyu v nij vazhkih metaliv [The influence of the level of mineralization of drinking water on the concentration of heavy metals in it]. *Lvivskij NUP [Lviv NUP]*, P. 59 [in Ukrainian].

Grubinko, V.V., Andrusishin, T.V., Tkach, N.M., & Madaj, I.I. (2021). Zpbrudnennya vodi Verhno-Ivachivskogo vodozaboru vazhkimi [Water pollution of the Verkhnyo-Ivachyv water intake is severe]. *Ternopil Biosci*, P. 63–75 [in Ukrainian].

Sahno, T.V., Semenov, A.O., & Sahno, Yu.E. (2023). Pokazniki yakosti vodi ta yih vimiryuvannya [Water quality indicators and their measurement]. *Yakist ta bezpechnist produkciyi u vnutrishnij i zovnishnij torgivli j torgovelnе pidpriyemnictvo: suchasni vektori rozvitku i perspektivi – 2023. [Quality and safety of products in domestic and foreign trade and trade entrepreneurship: modern vectors of development and prospects – 2023]. materiali II Mizhnarodnoyi naukovo-praktichnoyi konferenciyi [materials of the II International Scientific and Practical Conference]. PDAU, P. 250–253 [in Ukrainian].*

Shumigaj, I.V., Yermishev, O.V., & Manishevskya, N.M. (2021). Ekologichna ocinka zabrudnennya vazhkimi metalami pidzemnih vod Kiyivshini [Ecological assessment of heavy metal contamination of underground waters of Kyiv region]. *Agroekologichnij zhurnal [Agroecological journal]*, Vol. 1, 89–96. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2021.227244> [in Ukrainian].

ASTM International. (2016). ASTM D5673-16. Standard test method for elements in water by inductively coupled plasma – mass spectrometry. West Conshohocken, PA : ASTM International [in English].

Kumar, A., Kumar, V., Pandita, S., Singh, S., Bhardwaj, R., Varol, M., & Rodrigo-Comino, J. (2023). A global meta-analysis of toxic metals in continental surface water bodies. *J. Environ. Chem. Eng.*, Vol. 11 (3), p. 109964. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109964> [in English].

Lace, A., & Cleary, J. (2021). A Review of Microfluidic Detection Strategies for Heavy Metals in Water. *Chemosensors*. Vol. 9, P. 60. <https://doi.org/10.3390/chemosensors9040060> [in English].

Li, Y., Huang, H., Cui, R., Wang, D., Yin, Z., Wang, D., Zheng, L., Zhang, J., Zhao, Y., Yuan, H., Dong, J., Gu, X., & Sun, B. (2021). Electrochemical sensor based on graphdiyne is effectively used to determine Cd<sup>2+</sup> and Pb<sup>2+</sup> in water. *Sens. Actuators B Chem.*, Vol. 332, P. 129519. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.129519> [in English].

Lorena, M., Buddhi, W., Godwin, A., Prasanna, E., & Ashantha, G. (2021). Water-sediment interactions and mobility of heavy metals in aquatic environments. *Water Res.*, Vol. 202, P. 117386. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117386> [in English].

Luoa, P., Xu, C., Kanga, S., Huoa, A., Lyua, J., Zhoua, M., & Nover, D. (2021). Heavy metals in water and surface sediments of the Fenghe River Basin, China: assessment and source analysis. *Water Sci. Technol*, Vol. 84 (10–11), P. 3072 <https://doi.org/10.2166/wst.2021.335> [in English].

Meez, E., Rahdar, A., & George, Z. (2021). Sawdust for the Removal of Heavy Metals from Water: A Review. *Molecules*, Vol. 26, P. 4318. <https://doi.org/10.3390/molecules26144318> [in English].

O'Hara, T., & Singh, B. (2021). Electrochemical Biosensors for Detection of Pesticides and Heavy Metal Toxicants in Water: Recent Trends and Progress. *ACS EST Water*, Vol. 1 (3), P. 462–478. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.0c00125> [in English].

Timothy, O., Opeyemi, A., & Oyewo, D. (2021). Simultaneous removal of organics and heavy metals from industrial wastewater: A review. *Chemosphere*, Vol. 262, P. 128379. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128379> [in English].

Yüksel, B., Ustaoglu, F., & Arica, E. (2021). Impacts of a Garbage Disposal Facility on the Water Quality of Çavuşlu Stream in Giresun, Turkey: A Health Risk Assessment Study by a Validated ICP-MS. *Assay Aquat Sci Eng.*, Vol. 36 (4). P. 181–192. <https://doi.org/10.26650/ASE2020845246> [in English].

Отримано: 25.07.2024

Прийнято: 12.08.2024



УДК 544.723:546.32:547.869  
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.12>

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АДСОРБЦІЇ МЕТИЛЕНОВОГО СИНЬОГО ПОВЕРХНЕЮ КАЛІЙ ТИТАНАТУ

С. В. Писаренко<sup>1</sup>, О. М. Камінський<sup>2</sup>, Р. О. Денисюк<sup>3</sup>, О. С. Євдоченко<sup>4</sup>,  
О. В. Анічкіна<sup>5</sup>, С. В. Авдєєв<sup>6</sup>

*Чиста природна питна вода необхідна для кожного аспекту життя людини. Останніми роками досить гостро стоїть проблема якості питної води.*

*Забруднення навколишнього середовища викидами різних галузей промисловості призводить до ряду негативних наслідків, які відображаються на життєдіяльності всіх живих організмів. Відповідно очистка стічних вод залишається актуальною проблемою сьогодення. Існує значна кількість методів очистки води, проте методи адсорбції знаходять найбільш широке застосування. Особливо перспективним їх використання є для сполук, які біологічно не розкладаються, зокрема для штучних барвників. Ефективність адсорбції залежить від багатьох факторів,*

<sup>1</sup> доктор філософії з галузі знань 16 Хімічна інженерія та біоінженерія  
асистент кафедри хімії

(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)  
e-mail: snezhunka1107@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-5978-487X

<sup>2</sup> 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

<sup>3</sup> 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

<sup>4</sup> доктор філософії з галузі знань 01 Освіта/Педагогіка, доцент кафедри хімії  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)  
e-mail: evdochenko\_lena@ukr.net  
ORCID: 0000-0001-6338-5372

<sup>5</sup> кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри хімії  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)  
e-mail: eva\_kvitka@meta.ua  
ORCID: 0000-0003-4843-0707

<sup>6</sup> старший викладач кафедри хімії  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)  
e-mail: avdeevssv@gmail.com  
ORCID: 0009-0001-0340-3150

одним з найважливіших є хімічна природа адсорбенту. Серед групи адсорбентів досить перспективними є сполуки титану.

В роботі досліджено процес адсорбції метиленового синього з водного розчину. В якості адсорбенту використано калій титанат, який синтезовано методом лужного вилуговування ільменітового концентрату Іршанської групи родовищ калій гідроксидом. Встановлено, що максимальний ступінь вилучення метиленового синього, понад 44 % досягається при використанні калій титанату масою 0,005 г протягом 10 хвилин від початку контакту поверхонь адсорбенту та адсорбату. Визначено, що експериментальні кінетичні криві адсорбції метиленового синього поверхнею калій титанату адекватно описуються кінетичним рівнянням псевдо-другого порядку (Хо-Маккея). Даний механізм адсорбції водночас враховує взаємодію на межі поділу «адсорбат-адсорбент» та міжмолекулярні взаємодії адсорбованих речовин на поверхні. Розраховано, що початкова швидкість адсорбції становить 2,81 мг/г·хв.

Встановлено, що адсорбційна ємність калій титанату щодо барвника метиленового синього становить 21,92 мг/г. За даних умов коефіцієнт розподілу між розчином барвника та поверхнею калій титанату досягає величини 3346,57 мл/г, що свідчить про значну спорідненість поверхні адсорбенту до молекул метиленового синього. Показано, що процес адсорбції задовільно описується моделлю ізотерми Тьомкіна, тобто молекули барвника адсорбуються на потенційно неоднорідних поверхнях, що мають рівномірний розподіл адсорбційних центрів. Розрахована величина енергії адсорбції вказує на фізичний характер взаємодії на межі поділу «адсорбат-адсорбент». Показано перспективність використання калій титанату в якості адсорбенту метиленового синього з водного розчину.

**Ключові слова:** адсорбція, кінетичні моделі, ізотерми адсорбції, метиленовий синій, калій титанат.

## STUDY OF THE PROCESS OF ADSORPTION OF METHYLENE BLUE BY THE SURFACE OF POTASSIUM TITANATE

S. V. Pysarenko, O. M. Kaminskyi, R. O. Denysiuk, O. S. Yevdochenko,  
O. V. Anichkina, S. V. Avdieiev

Clean natural drinking water is necessary for every aspect of human life. In recent years, the problem of the quality of drinking water has become quite acute. Pollution of the environment by emissions from various industries leads to a number of negative consequences that are reflected in the vital activities of all living organisms. Accordingly, wastewater treatment remains an urgent problem today. There are a significant number of water purification methods, but adsorption methods are the most widely used. Their use is especially promising for compounds that are not biodegradable, in particular for artificial dyes. Adsorption efficiency depends on many factors, one of the most important being the chemical nature of the adsorbent. Among the group of adsorbents, titanium compounds are quite promising. The paper investigates the process of methylene blue adsorption from an aqueous solution. As an adsorbent, potassium titanate was used, which was synthesized by the method of alkaline leaching of ilmenite concentrate of the Irshan group of potassium hydroxide deposits. It was established that the maximum degree of extraction of methylene blue, more than 44%, is achieved when using potassium titanate weighing 0.005 g within 10 minutes from the beginning of contact between the adsorbent and adsorbate surfaces. It was determined that the experimental kinetic curves of methylene blue adsorption on the surface of potassium titanate are adequately described by the pseudo-second-order (Ho-McKay) kinetic equation. This adsorption mechanism simultaneously takes into account the interaction at the “adsorbate-adsorbent” interface and intermolecular interactions of adsorbed substances on the surface. It is calculated that the initial rate of adsorption is 2.81 mg/h·min.

It was established that the adsorption capacity of potassium titanate for methylene blue dye is 21.92 mg/g. Under these conditions, the partition coefficient between the dye solution and the surface of potassium titanate reaches 3346.57 ml/g, which indicates a significant affinity of the adsorbent surface for methylene blue molecules. It is shown that the adsorption process is satisfactorily described by the Tiomkin isotherm model, i.e. dye molecules are adsorbed on potentially heterogeneous surfaces with a uniform distribution of adsorption centers. The calculated value of the adsorption energy indicates the physical nature of the interaction at the “adsorbate-adsorbent” separation boundary. The perspective of using potassium titanate as an adsorbent of methylene blue from an aqueous solution is shown.

**Key words:** adsorption, kinetic models, adsorption isotherms, methylene blue, potassium titanate.

## Вступ

Вода є фундаментальним компонентом, що підтримує біологічні процеси, регулює клімат, забезпечує гігієну та здоров'я, а також є важливою для сільського господарства та промисловості (Kusuma et al., 2024). Проблема якості питної води є однією з найважливіших екологічних та соціальних питань сучасності. Незважаючи на значний прогрес у водопостачанні, мільйони людей по всьому світу стикаються з труднощами, пов'язаними з доступом до безпечної питної води. Як зазначається в Угоді про асоціацію з ЄС та затвердженій Директиві ЄС (Directive..., 2020) вода є головним харчовим продуктом, тому пошук ефективних методів очистки води до якості питної залишається актуальним.

Велика кількість небезпечних барвників, пігментів, іонів металів, що використовуються при виробництві текстилю, а також целюлози і паперової промисловості, викидаються у водойми (Ticharondwa et al., 2020). Видалення таких забруднювачів дуже важливо, оскільки якість води значною мірою залежить від їх наявності. Барвники навіть у невеликій кількості дуже помітні та небажані, крім того, багато з них є токсичними, а деякі є навіть канцерогенними. Колір барвників може частково зберігатись навіть після промислової очистки води. Відповідно забарвлена стічна вода потрапляє до водойм та перешкоджає проникненню світла, що в свою чергу впливає на процес фотосинтезу та життєдіяльність водних мешканців (Zou et al., 2024).

Одним із барвників, який часто використовується в промисловості, є метиленовий синій. Оскільки даний барвник має канцерогенні та мутагенні властивості, він може спричинити серйозні захворювання у людей. Існує значна кількість методів видалення шкідливих забруднювачів із навколишнього середовища, а саме мембранна фільтрація, біологічна обробка, фотокаталітична деструкція, іонний обмін, хімічне осадження, адсорбція (Shi et al., 2019; Zhang, 2019; Pysarenko et al., 2022; Li et al., 2024). Кожен з перерахованих вище методів має свої переваги і недоліки. Однак, згідно з даними, наведеними в літературі, адсорбція є вискоєфективним підходом для видалення стійких забруднювачів, включаючи барвники, порівняно з іншими методами очищення (Wang et al., 2019). Перевагою процесу адсорбції є не тільки економічна доцільність, але й висока продуктивність,

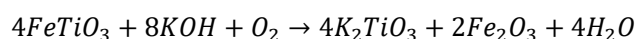
що забезпечується доступністю та простотою даного методу. На величину адсорбції впливають фізико-хімічні параметри, такі як: хімічна природа як адсорбента, так і адсорбата, площа поверхні адсорбенту, функціональні групи поверхні, розмір частинок, рН середовища, температура, тривалість контакту та взаємодія між адсорбатом і адсорбентом (Dalmaz et al., 2024).

Слід зазначити, що набір фізико-хімічних властивостей адсорбенту відіграє важливу роль в ефективності процесу адсорбції. Для видалення барвників із водних розчинів використовують різноманітні адсорбенти. Найбільш розповсюдженими серед них є алюміній оксид, титан діоксид, силікагель, ферити, активоване вугілля, тверді сільськогосподарські відходи, хітозан, натрій альгінат, різні глини, полімерні матеріали та біоадсорбенти (Lyu et al., 2020; Lima et al., 2020; Khnifira et al., 2021; Sangor et al., 2023).

Сполуки титану є перспективними адсорбентами для очищення води, повітря та інших середовищ від різноманітних забруднювачів. Вони мають унікальні властивості, що дозволяють ефективно видаляти як органічні, так і неорганічні забруднювачі. Проте дослідження процесів адсорбції барвників, таких як метиленовий синій, з водних розчинів поверхнею синтетичного калій титанату вивчені не достатньо, що і є метою даної роботи.

## Матеріал і методи

З метою дослідження процесу адсорбції метиленового синього з водного розчину використано калій титанат синтезований способом лужного вилуговування за реакцією:



Вихідними матеріалами для синтезу є ільменітовий концентрат Іршанської групи родовищ (96%) та кристалічний калій гідроксид марки «ч.д.а». Синтез та очистку одержаного калій титанату проводили за методикою описаною в роботі (Писаренко та ін., 2021).

Одержані зразки калій титанату досліджено методами скануючої електронної мікроскопії з рентгеноспектральним елементним мікроаналізом, ІЧ-Фур'є спектроскопії та рентгенівської дифракції.

На рис. 1 зображено ІЧ-Фур'є спектр калій титанату.

Визначено, що наявність піку  $938\text{ см}^{-1}$  відповідає валентними та деформаційними коливаннями  $TiO_3^{2-}$  у зразку калій титанату,

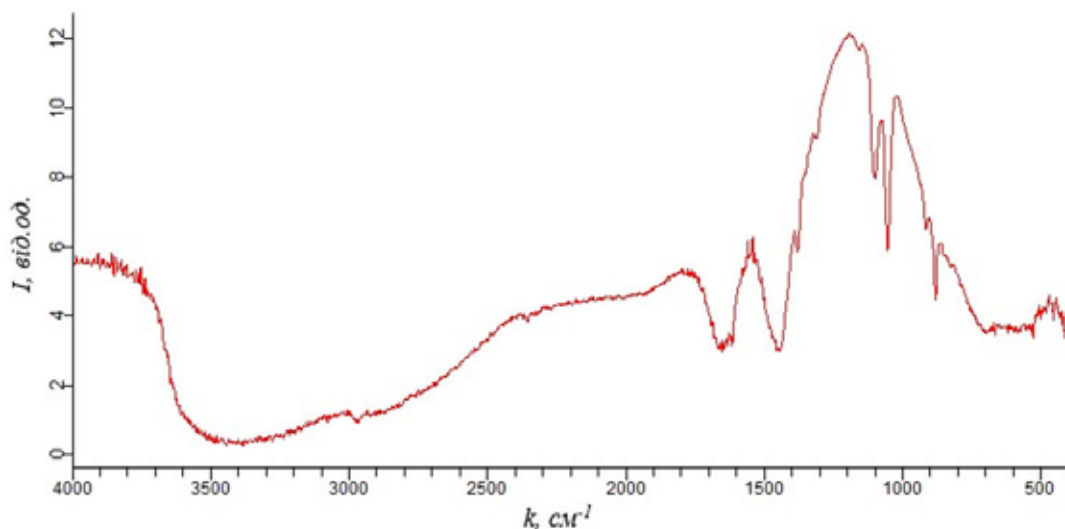


Рис. 1. ІЧ-Фур'є спектр калій титанату

що, як зазначають автори (Gonzalez et al., 2015) дозволяє відрізнити утворений калій титанат від вихідного ільменіту, в якого такий рефлекс на спектрі відсутній.

Для вивчення процесів адсорбції барвника метиленового синього з розчинів використано установку, яка схематично зображена на рис. 2.

Для дослідження залежності від маси адсорбенту адсорбцію метиленового синього проводили в статичному режимі при перемішуванні протягом 10 хвилин за температури 293 К. Об'єм розчину барвника, використаний для адсорбції 20 мл, початкова концентрація становила 10 мг/л, а діапазон маси калій титанату знаходився в межах 5–120 мг. Відповідну наважку адсорбенту

поміщали в склянку, додавали зазначений об'єм розчину барвника та перемішували на магнітній мішалці (див. рис. 2). Після завершення процесу адсорбції адсорбент відділяли від розчину за допомогою центрифуги протягом 5 хвилин зі швидкістю 2500 об/хв та визначали залишкову концентрацію барвника. Концентрацію розчинів до та після адсорбції визначали спектрофотометрично за допомогою спектрофотометра UV-1200 за довжини хвилі 670 нм.

Ємність адсорбенту  $A$ , мг/г розраховували за формулою:

$$A = \frac{(C_0 - C_p) \cdot V}{m}, \quad (1)$$

де  $C_0$  і  $C_p$  – концентрація вихідного розчину та розчину після адсорбції (мг/л);

$V$  – об'єм розчину (л);

$m$  – наважка адсорбенту (г).

Коефіцієнт розподілу  $E$  (мг/г) на межі фаз «поверхня адсорбенту – розчин» обраховували за формулою:

$$E = \frac{A}{C_p} \cdot 1000 \quad (2)$$

Ступінь вилучення барвників  $X$ , % з водних розчинів визначали за формулою:

$$X = \frac{(C_0 - C_p)}{C_0} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де  $C_0$  і  $C_p$  – концентрація вихідного розчину та розчину після адсорбції (мг/л).

Кінетику процесу адсорбції метиленового синього поверхнею калій титанату досліджували з використанням адсорбенту масою 5 мг, який попередньо просіювали до фракції з розмірами частинок

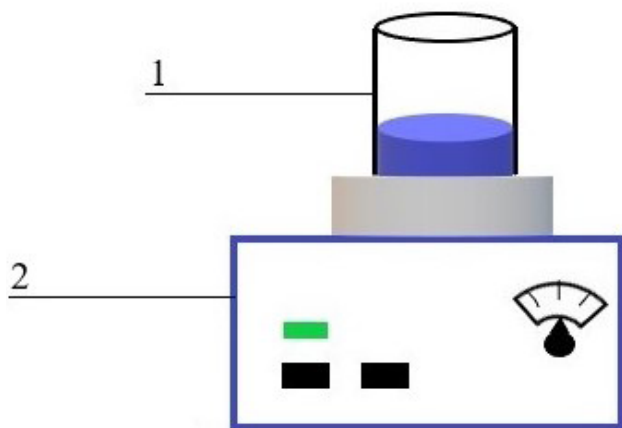


Рис. 2. Схема установки для дослідження адсорбційних процесів:

1 – склянка з розчином барвника та калій титанату; 2 – магнітна мішалка

$d \leq 71$  мкм та відважували на аналітичних вагах. У широку хімічну склянку об'ємом 50 мл поміщали адсорбент та додавали 20 мл розчину метиленового синього з концентрацією 8 мг/л. Процес адсорбції проводили в статичному режимі з використанням установки, зазначеної на рис. 2. Діапазон часу контакту «адсорбат-адсорбент» становив: 5; 8; 10; 12 та 15 хвилин. Після завершення адсорбційного процесу адсорбент відділяли центрифугуванням. Концентрацію до та після адсорбції визначали фотометрично. Одержані кінетичні залежності проаналізовано відповідно до моделей псевдо-першого порядку Лагергрена (лімітуючою стадією є дифузія молекул адсорбата в поверхневій шарі адсорбента) та псевдо-другого порядку Хо-Маккея (лімітуючою стадією є хімічна взаємодія компонентів на межі поділу фаз). Модель псевдо-першого порядку Лагергрена в лінійному вигляді можна зобразити так:

$$\ln(A_{\max} - A_t) = \ln A_p - k_1 t, \quad (4)$$

де  $A_{\max}$  – адсорбційна ємність моношару, мг/г;

$A_p$  – експериментальна (рівноважна) адсорбційна ємність моношару, мг/г;

$A_t$  – адсорбційна ємність в момент часу, мг/г;

$k_1$  – константа швидкості псевдопершого порядку,  $\text{хв}^{-1}$ ;

$t$  – час, хв.

Модель псевдо-другого порядку Хо-Маккея в лінійному вигляді можна зобразити так:

$$\frac{t}{A_t} = \frac{1}{U_0} + \frac{t}{A_p}, \quad (5)$$

де  $U_0$  – початкова швидкість адсорбції, мг/г·хв.

Початкову швидкість адсорбції розраховано за формулою:

$$U_0 = k_2 A_{\text{теор}}^2, \quad (6)$$

де  $k_2$  – константа швидкості псевдодругого порядку, г/мг·хв.

Для побудови ізотерм адсорбції використано калій титанат масою 5 мг, об'єм розчину барвника 20 мл та час контакту 10 хвилин. Діапазон концентрацій метиленового синього становив 2, 4, 6, 8, та 10 мг/л відповідно. Процес адсорбції здійснювали в статичному режимі, потім розчини цен-

трифугували, а концентрацію визначали фотометрично.

Для обробки одержаних ізотерм адсорбції метиленового синього з водних розчинів використано математичні моделі адсорбції Ленгмюра, Фрейндліха, Тьомкіна та Дубініна-Радушкевича.

Рівняння Ленгмюра, яке описує процеси адсорбції барвника на гомогенних (однорідних) центрах поверхні за умови, що всі активні центри є енергетично однорідними і на поверхні може утворюватись лише мономолекулярний шар адсорбату, в лінійній формі виглядає так (Onyango et al., 2004; Tripathy et al., 2008):

$$\frac{C_p}{A} = \frac{C_p}{A} + \frac{1}{K_L \cdot A_{\infty}}, \quad (7)$$

де  $A$  – ємність адсорбенту (мг/г);  $C_p$  – рівноважна концентрація барвника після адсорбції (мг/л);  $A_{\infty}$  – максимальна адсорбційна ємність моношару, мг/г;  $K_L$  – константа Ленгмюра, що описує термодинамічні умови адсорбції, л/мг.

Рівняння Фрейндліха, що описує мономолекулярну адсорбцію на гетерогенних центрах поверхні, де відбувається нерівномірний розподіл за енергіями, в лінійній формі виглядає так (Onyango et al., 2004; Tripathy et al., 2008):

$$\ln A = \ln K_{\phi} + \frac{1}{n} \ln C_p, \quad (8)$$

де  $K_{\phi}$  та  $n$  – константи Фрейндліха, що характеризують адсорбційну ємність та інтенсивність адсорбції відповідно.

Рівняння Тьомкіна використовується для опису потенційно неоднорідних поверхонь, на яких відбувається рівномірний розподіл адсорбційних центрів за енергією, в лінійній формі має вигляд (Onyango et al., 2004; Tripathy et al., 2008):

$$A = b_t \ln K_T + b_t \ln C_p, \quad (9)$$

де  $b_t$  – константа, що характеризує теплоту адсорбції;  $K_T$  – константа Тьомкіна, яка відповідає максимальній енергії взаємодії «адсорбат-адсорбент» на межі поділу фаз.

Рівняння Дубініна-Радушкевича, описує фізичну та хімічну адсорбцію барвника і в лінійній формі має вигляд (Onyango et al., 2004; Tripathy et al., 2008):

$$\ln A = \ln A_{\infty} - k \varepsilon^2, \quad (10)$$

де  $k$  – константа, що пов'язана з енергією адсорбції,  $\text{моль}^2/\text{кДж}^2$ ;  $\varepsilon$  – потенціал Поляні, який характеризує роботу перенесення

адсорбату з об'єму розчину до поверхні адсорбенту, кДж/моль.

Модель Дубініна-Радушкевича дає можливість визначити природу адсорбції на межі поділу фаз і може бути використана для розрахунку середньої вільної енергії адсорбції (Onyango et al., 2004; Tripathy et al., 2008):

$$E = -(2k)^{-0.5} \quad (11)$$

Величина енергії адсорбції вказує на характер міжмолекулярної взаємодії на межі поділу фаз. Якщо її значення не перевищує 8 кДж/моль, то процес адсорбції носить суто фізичний характер, якщо ж дана величина знаходиться в межах 8–16 кДж/моль, то адсорбційний процес протікає за іонообмінним механізмом, у разі коли енергія адсорбції становить більше 16 кДж/моль, то це вказує на хемосорбцію на поверхні.

### Результати та їх обговорення

Для дослідження процесів адсорбції метиленового синього з водних розчинів поверхнею калій титанату від маси адсорбентів проведено ряд експериментальних досліджень, за результатами яких побудовано залежності ступеня вилучення барвника від маси адсорбенту (рис. 3).

Встановлено, що за мінімальної маси адсорбенту (0,005 г) значення ступеня вилучення метиленового синього становить 44,3% для калій титанату. Визначено, що фактично в усьому діапазоні мас адсорбенту ступінь вилучення барвників з водних розчинів змінюється не більше ніж на  $\pm 10\%$ .

На рис. 4 зображено графік залежності ступеня вилучення барвника від часу контакту з поверхнею калій титанату.

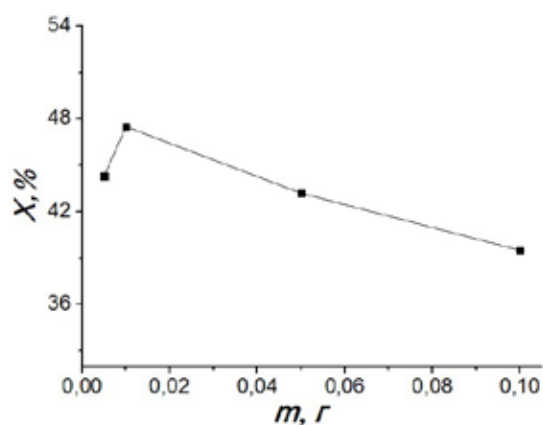


Рис. 3. Залежність ступеня вилучення метиленового синього з водних розчинів поверхнею калій титанату від маси адсорбенту

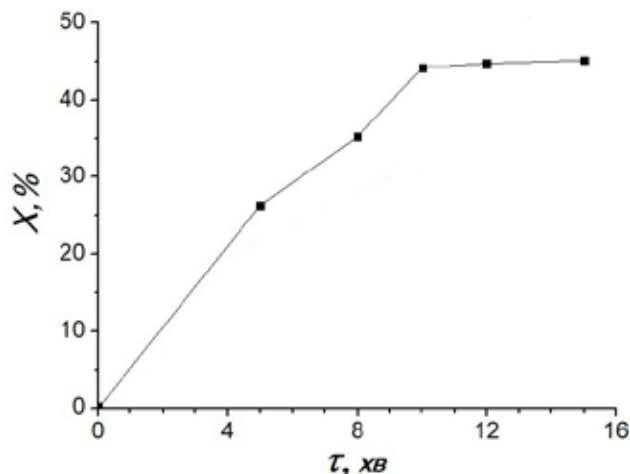


Рис. 4. Залежність ступеня вилучення метиленового синього з водних розчинів поверхнею калій титанату від часу контакту

Як видно з рис. 4, за перші 5 хвилин від початку контакту «адсорбат-адсорбент» поверхнею калій титанату адсорбується 26,3% метиленового синього з розчину. Максимальної величини ступеня вилучення досягається протягом 10 хвилин від початку контакту та становить 44,2%. Характер кривої вказує на те, що рівновага процесу адсорбції настає через 10 хвилин. Показано, що подальше збільшення часу контакту розчину з адсорбентами суттєво не змінює величину ступеня вилучення.

З метою визначення можливого механізму процесу адсорбції метиленового синього поверхнею калій титанату, часові залежності було проаналізовано за кінетичними моделями Лагергрена та Хо-Маккея.

На рис. 5 показано графіки кінетичних моделей псевдо-першого та псевдо-другого порядків.

Встановлено, що кінетичні залежності адекватно описуються в координатах рівняння псевдо-другого порядку (Хо-Маккея), що видно з коефіцієнта кореляції ( $R^2 = 0,959$ ). Даний механізм адсорбції дозволяє враховувати як взаємодії на межі поділу адсорбат-адсорбент, так і міжмолекулярні взаємодії адсорбованих речовин на поверхні. Розраховано, що початкова швидкість адсорбції становить 2,81 мг/г·хв.

На рис.6 зображено ізотерму адсорбції метиленового синього з розчинів поверхнею калій титанату.

Встановлено, що адсорбційна ємність калій титанату щодо барвника метиленового синього становить 21,92 мг/г. Як



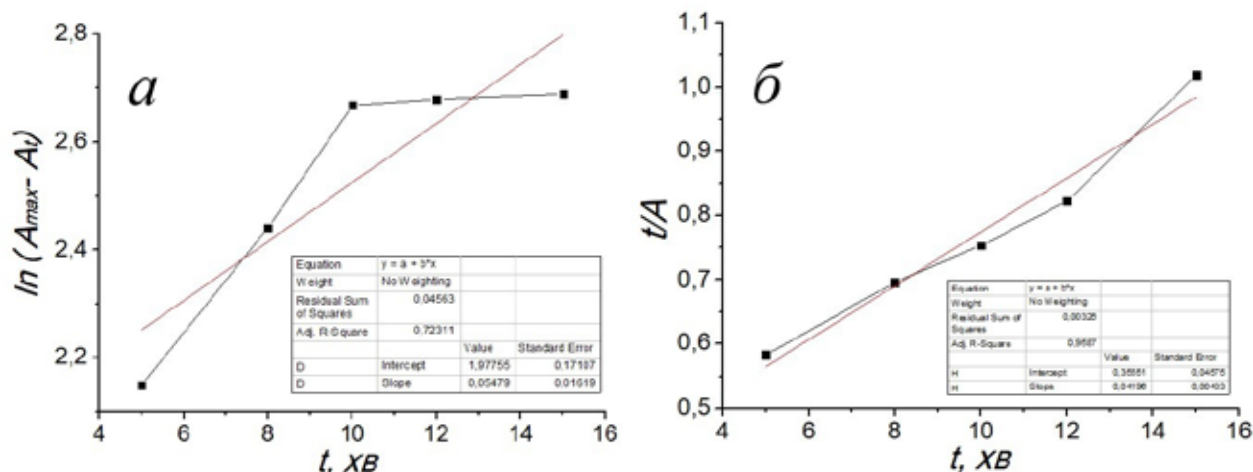


Рис. 5. Кінетичні залежності адсорбції метиленового синього поверхнею калій титанату відповідно до моделей псевдо-першого (а) та псевдо-другого (б) порядків

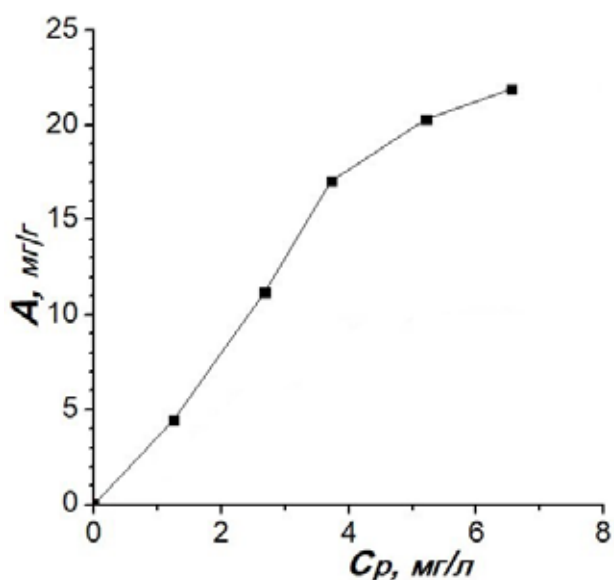


Рис. 6. Ізотерми адсорбції барвників метиленового синього з водних розчинів поверхнею калій титанату.

видно з рис. 6, характер кривої ізотерми має форму з виходом на насичення, що нагадує криві ізотерм Ленгмюра (L – тип) відповідно до класифікації Гільса.

Одержані експериментальні дані щодо адсорбції метиленового синього поверхнями адсорбентів наведено в таблиці 1.

Відповідно до даних таблиці, коефіцієнт розподілу між розчином барвника та поверхнею калій титанату становить 3346,57 мл/г, що вказує на те, що поверхня калій титанату має значну спорідненість до молекул метиленового синього і сили міжмолекулярної взаємодії на межі поділу

фаз переважають над взаємодіями в об'ємі розчину.

В таблиці 2 наведено розрахункові дані відповідно до моделей адсорбції Ленгмюра, Фрейндліха, Тьомкіна та Дубініна – Радущкевича метиленового синього з розчинів на поверхнею калій титанату.

Як видно з таблиці, ізотерма адсорбції метиленового синього поверхнею калій титанату задовільно описується моделлю Тьомкіна, в порівнянні з іншими моделями, на що вказує коефіцієнт кореляції ( $R^2 = 0,980$ ). Це означає, що адсорбція барвника відбувається на неоднорідних поверхнях, на якій відбувається енергетично рівномірний розподіл центрів адсорбції.

Розрахована енергія адсорбції ( $E$ ) за рівнянням Дубініна-Радущкевича для поверхні адсорбенту не перевищує 2 кДж/моль що вказує на фізичну адсорбцію молекул барвника на поверхні калій титанату.

### Висновки

Методом лужного вилуговування синтезовано калій титанат з ільменітового концентрату Іршанської групи родовищ (96%) шляхом сплавлення з кристалічним калій гідроксидом. Очищені зразки калій титанату досліджено методами скануючої електронної мікроскопії з рентгеноспектральним елементним мікроаналізом, ІЧ-Фур'є спектроскопії та рентгенівської дифракції. За допомогою ІЧ-Фур'є спектроскопії визначено, що наявність піку  $938\text{ см}^{-1}$  відповідає валентними та деформаційними коливаннями  $\text{TiO}_3^{2-}$  в зразку калій титанату, що підтверджує його структуру.

Встановлено, що максимальний ступінь вилучення метиленового синього з роз-

Таблиця 1

Експериментальні дані щодо адсорбції метиленового синього поверхнею калій титанату

Поверхня	$C_0$ , мг/л	$C_p$ , мг/л	$A$ , мг/г	$E$ , мл/г
$K_2TiO_3$	2,52	1,63	3,56	2184,05
	5,48	2,68	11,20	4179,10
	8,15	4,54	14,44	3180,62
	10,29	5,21	20,32	3900,19
	12,03	6,55	21,92	3346,57

Таблиця 2

Розрахункові дані відповідно до моделей адсорбції метиленового синього з розчинів на поверхнею калій титанату

$K_2TiO_3$						
Модель Ленгмюра			Модель Фрейндліха			
$A_{max}$ , мг/г	$K_L$ , л/мг	$R^2$	$n$	$K_F$	$R^2$	
58,038±4,312	0,098±0,070	0,590	1,009±0,127	1,813±0,113	0,952	
Модель Тьомкіна			Модель Дубініна-Радушкевича			
$b_T$	$K_T$	$R^2$	$A_{max}$ , ммоль/г	$k$ , моль <sup>2</sup> /кДж <sup>2</sup>	$E$ , кДж/моль	$R^2$
10,991±0,791	1,166±0,103	0,980	5,264±0,257	0,146±0,005	1,850±0,033	0,996

чину становить 44,3% для маси адсорбенту 0,005 г. Визначено, що фактично в усьому діапазоні мас адсорбенту ступінь вилучення барвників з водних розчинів змінюється не більше ніж на ±10%.

Показано, що за перші 5 хвилин від початку контакту «адсорбат-адсорбент» вилучається 26,3% метиленового синього з розчину. Максимальна величина ступеня вилучення досягається протягом 10 хвилин від початку контакту та становить 44,2%.

Встановлено, що кінетичні залежності адекватно описуються в координатах рівняння псевдо-другого порядку (Хо-Маккея), що видно з коефіцієнта кореляції ( $R^2 = 0,959$ ). Даний механізм адсорбції дозволяє враховувати як взаємодії на межі поділу «адсорбат-адсорбент», так і міжмолекулярні взаємодії адсорбованих речовин на поверхні. Розраховано, що початкова швидкість адсорбції становить 2,81 мг/г·хв.

Встановлено, що адсорбційна ємність калій титанату щодо барвника метиленового синього становить 21,92 мг/г. Показано, що характер кривої ізотерми має форму з вихо-

дом на насичення, що нагадує криві ізотерм Ленгмюра (L – тип) відповідно до класифікації Гільса.

Розрахований коефіцієнт розподілу між розчином барвника та поверхнею калій титанату становить 3346,57 мл/г вказує на те, що поверхня адсорбенту має значну спорідненість до молекул метиленового синього і сили міжмолекулярної взаємодії на межі поділу фаз переважають над взаємодіями в об'ємі розчину.

Визначено, що ізотерма адсорбції метиленового синього поверхнею калій титанату задовільно описується моделлю Тьомкіна, в порівнянні з іншими моделями, на що вказує коефіцієнт кореляції ( $R^2 = 0,980$ ). Це означає, що адсорбція барвника відбувається на неоднорідних поверхнях, на якій відбувається енергетично рівномірний розподіл центрів адсорбції.

За величиною енергії адсорбції визначено фізичну адсорбцію молекул барвника на поверхні калій титанату.

Показано перспективність використання калій титанату в якості адсорбенту метиленового синього з водних розчинів.

### Список використаної літератури

Писаренко С.В., Черненко В.Ю., Чигиринець О.Е., Камінський О.М., Мироняк М.О. Лужне вилуговування титану з ільменіту Іршанського родовища. *Питання хімії та хімічної технології*. 2021. № 6. С. 51–56. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2021-139-6-51-56>.

Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption [Електронний ресурс]. URL: <https://www.legislation.gov.uk/eudr/2020/2184> (дата звернення 24.07.2024).

González E.A.Z., García-Guaderrama M., Villalobos M.R., Dellamary F.L., Kandhual S., Rout N.P., Tiznado H., Arizaga G.G.C. Potassium titanate as heterogeneous catalyst for methyl transesterification. *Powder Technol.* 2015. Vol. 280. P. 201–206. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.04.030>.

Kusuma H.S., Christa Jaya D.E., Illiyanasafa N., Ikawati K.L., Kurniasari E., Darmokoesoemo H., Amenaghawon A.N. A critical review and bibliometric analysis of methylene blue adsorption using leaves. *Chemosphere.* 2024. 141867 p. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141867>.

Li J., Cao Y., Ding K., Ye J., Li F., Ma C., Lv P., Xu Y., Shi L. Research progress of industrial wastewater treatment technology based on solar interfacial adsorption coupled evaporation process. *Sci. Total Environ.* 2024. 172887 p. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172887>.

Lima J.P., Alvarenga G., Goszczynski A.C.F., Rosa G.R., Lopes T.J. Batch adsorption of methylene blue dye using *Enterolobium contortisiliquum* as bioadsorbent: Experimental, mathematical modeling and simulation. *J. Ind. Eng. Chem.* 2020. Vol. 91. P. 362–371. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2020.08.029>.

Lyu R., Zhang C., Xia T., Chen S., Wang Z., Luo X., Wang L., Wang Y., Yu J., Wang C. Efficient adsorption of methylene blue by mesoporous silica prepared using sol-gel method employing hydroxyethyl cellulose as a template. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.* 2020. Vol. 606. 125425 p. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125425>.

Onyango M., Kojima Y., Aoyi O., Bernardo E., Matsuda H. Adsorption equilibrium modeling and solution chemistry dependence of fluoride removal from water by trivalent-cation-exchanged zeolite F-9. *J. Colloid Interface Sci.* 2004. Vol. 279 (2). P. 341–350. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.06.038>.

Pysarenko S., Kaminskyi O., Chyhyrynets O., Denysiuk R., Chernenko, V. Photocatalytic destruction and adsorptive processes of methylene blue by potassium titanate. *Mater. Today Proc.* 2022. Vol. 62 (15). P. 7754–7758. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.476>.

Sangor F.I.M.S., Al-Ghouti M.A. Waste-to-value: Synthesis of nano-aluminum oxide (nano- $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) from waste aluminum foils for efficient adsorption of methylene blue dye. *Case Stud. Chem. Environ. Eng.* 2023. Vol. 8. 100394 p. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100394>.

Shi D., Huang Y., Wang H., Yuan W., Fu P. Deoiling of oil-coated catalyst using high-speed suspending self-rotation in cyclone. *Sep. Purif. Technol.* 2019. Vol. 210. P. 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.03.059>.

Tichapondwa S.M., Newman J.P., Kubheka O. Effect of  $\text{TiO}_2$  phase on the photocatalytic degradation of methylene blue dye. *Phys. Chem. Earth.* 2020. Vol. 118-119. P. 102900. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102900>.

Tripathy S., Raichur A. Abatement of fluoride from water using manganese dioxide-coated activated alumina. *J. Hazard. Mater.* 2008. Vol. 153 (3). P. 1043–1051. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.100>.

Wang L., Song S., Jiang S., & Wang L. Adsorption process optimization for phenolic wastewater treatment with macroporous resin. *Desalin. Water Treat.* 2019. Vol. 143. P. 192–196. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.23275>.

Zou P., Zhang M., Li C., Guo Y., Zhu W., Cheng J., Zhu J. Experimental study on dynamic adsorption properties of methylene blue onto coal-based activated carbon using a hydrocyclone. *Chem. Eng. Process.: Process Intensif.* 2024. Vol. 203. 109920 p. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2024.109920>.

Zhang S. Current status and development trend of China's dyestuff industry. *CIESC Journal.* 2019. Vol. 70 (10). P. 3704-3711.

## References

Pysarenko, S.V., Chernenko, V.Yu., Chyhyrynets, O.E., Kaminskyi, O.M., & Myroniak, M.O. (2021). Luzhne vyluhovuvannia tytanu z ilmenitu Irshanskoho rodovyshcha [Alkaline leaching of titanium from ilmenite of the Irshan deposit]. *Pytannia khimii ta khimichnoi tekhnolohii [Questions of chemistry and chemical technology]*, (6), 51–56. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2021-139-6-51-56> [in Ukrainian].

Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption [Electronic resource] URL: <https://www.legislation.gov.uk/eudr/2020/2184> (access date 24.07. 2024) [in English].

González, E.A.Z., García-Guaderrama, M., Villalobos, M.R., Dellamary, F.L., Kandhual, S., Rout, N.P., Tiznado, H., & Arizaga, G.G.C. (2015). Potassium titanate as heterogeneous catalyst

for methyl transesterification. *Powder Technol.*, 280, 201–206. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.04.030> [in English].

Kusuma, H.S., Christa Jaya, D.E., Illiyanasafa, N., Ikawati, K.L., Kurniasari, E., Darmokoesoemo, H., & Amenaghawon, A.N. (2024). A critical review and bibliometric analysis of methylene blue adsorption using leaves. *Chemosphere*, 141867. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141867> [in English].

Li, J., Cao, Y., Ding, K., Ye, J., Li, F., Ma, C., Lv, P., Xu, Y., & Shi, L. (2024). Research progress of industrial wastewater treatment technology based on solar interfacial adsorption coupled evaporation process. *Sci. Total Environ.*, 172887. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172887> [in English].

Lima, J.P., Alvarenga, G., Goszczynski, A.C.F., Rosa, G.R., & Lopes, T.J. (2020). Batch adsorption of methylene blue dye using *Enterolobium contortisiliquum* as bioadsorbent: Experimental, mathematical modeling and simulation. *J. Ind. Eng. Chem.*, 91, 362–371. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2020.08.029> [in English].

Lyu, R., Zhang, C., Xia, T., Chen, S., Wang, Z., Luo, X., Wang, L., Wang, Y., Yu, J., & Wang, C. (2020). Efficient adsorption of methylene blue by mesoporous silica prepared using sol-gel method employing hydroxyethyl cellulose as a template. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.*, 606, 125425. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125425> [in English].

Onyango, M., Kojima, Y., Aoyi, O., Bernardo, E., & Matsuda, H. (2004). Adsorption equilibrium modeling and solution chemistry dependence of fluoride removal from water by trivalent-cation-exchanged zeolite F-9. *J. Colloid Interface Sci.*, 279 (2), 341–350. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.06.038> [in English].

Pysarenko, S., Kaminskyi, O., Chyhyrynets, O., Denysiuk, R., & Chernenko, V. (2022). Photocatalytic destruction and adsorptive processes of methylene blue by potassium titanate. *Mater. Today Proc.*, 62 (15), 7754–7758. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.476> [in English].

Sangor, F.I.M.S., & Al-Ghouti, M.A. (2023). Waste-to-value: Synthesis of nano-aluminum oxide (nano- $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) from waste aluminum foils for efficient adsorption of methylene blue dye. *Case Stud. Chem. Environ. Eng.*, 8, 100394. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100394> [in English].

Shi, D., Huang, Y., Wang, H., Yuan, W., & Fu, P. (2019). Deoiling of oil-coated catalyst using high-speed suspending self-rotation in cyclone. *Sep. Purif. Technol.*, 210, 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.03.059> [in English].

Tichapondwa, S.M., Newman, J.P., & Kubheka, O. (2020). Effect of  $\text{TiO}_2$  phase on the photocatalytic degradation of methylene blue dye. *Phys. Chem. Earth.*, 118–119, 102900. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102900> [in English].

Tripathy, S., & Raichur, A. (2008). Abatement of fluoride from water using manganese dioxide-coated activated alumina. *J. Hazard. Mater.*, 153 (3), 1043–1051. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.100> [in English].

Wang, L., Song, S., Jiang, S., & Wang, L. (2019). Adsorption process optimization for phenolic wastewater treatment with macroporous resin. *Desalin. Water Treat.*, 143, 192–196. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.23275> [in English].

Zou, P., Zhang, M., Li, C., Guo, Y., Zhu, W., Cheng, J., & Zhu, J. (2024). Experimental study on dynamic adsorption properties of methylene blue onto coal-based activated carbon using a hydrocyclone. *Chem. Eng. Process.: Process Intensif.*, 109920. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2024.109920> [in English].

Zhang, S. (2019). Current status and development trend of China's dyestuff industry. *CIESC Journal*, 70 (10), 3704–3711 [in English].

Отримано: 05.08.2024

Прийнято: 21.08.2024



УДК 547.857.3

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.13>

## ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ АЦИЛЮВАННЯ 2,4-ДІОКСО- ТА 4-ІМІНО-2-ОКСО-3-ФЕНІЛ-5-R-6-R'-ТІЕНО[2,3-D] ПІРИМІДИНІВ

Г. В. Різак<sup>1</sup>

Актуальність дослідження полягає в біологічній активності тієно[2,3-d]піримідинів, які можуть мати потенціал у створенні нових лікарських засобів та фармакологічному застосуванні. Мета дослідження полягала у вивченні процесів ацилювання 2,4-діоксо- та 4-іміно-2-оксо-3-феніл-5-R-6-R'-тієно[2,3-d]піримідинів та оцінці потенціалу синтезованих сполук у створенні біологічно активних речовин. Для досягнення поставленої мети в роботі були застосовані методи органічного синтезу. Подальший аналіз структури отриманих сполук включав використання методів ЯМР та ІЧ спектроскопії. У даній роботі було проведено ацилювання 2,4-діоксо- та 4-іміно-2-оксо-3-феніл-5-R-6-R'-тієно[2,3-d]піримідинів ацилгалогенідами карбонових кислот. Взаємодія відбулася за участю натрієвих солей та специфічних ацилюючих агентів у відповідних умовах, що стимулювало формування цільових ацилованих продуктів. Результати експериментів показали успішне ацилювання вихідних сполук, що було підтверджено аналітичними даними та спектроскопічними характеристиками. Для повної характеристики отриманих сполук температури плавлення були виміряні з метою підтвердження чистоти та стабільності отриманих зразків. Присутність ацилоксильних груп у синтезованих молекулах свідчить про успішне введення ацильної групи до молекули тієно[2,3-d]піримідину. Додатковий аналіз отриманих даних показав, що алкілування та ацилювання натрієвих солей відбувається за участю екзоциклічного атома кисню в позиції 2, що призводить до утворення 2-алк(ацил)окси-4-оксо(іміно)-3-феніл-5-R-6-R'-тієно[2,3-d]піримідинів. Отримані дані також вказують на потенційну можливість подальшого розвитку методики синтезу та дослідження властивостей ацильованих сполук для їх подальшого застосування у фармацевтичній промисловості або інших сферах, спрямованих на створення нових лікарських засобів та функціональних матеріалів.

**Ключові слова:** органічний синтез, механізми реакції, карбонільні сполуки, реакційна здатність, модифікація.

<sup>1</sup> кандидат фармацевтичних наук  
(Благодійний фонд підтримки освіти, науки, науково-технічної та інноваційної діяльності,  
м. Ужгород)  
e-mail: gal.rizak6@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-0230-2366

## STUDY OF ACYLATION PROCESSES OF 2,4-DIOXO- AND 4-IMINO-2-OXO-3-PHENYL-5-R-6-R'-THIENO[2,3-D] PYRIMIDINES

G. V. Rizak

The relevance of the study lies in the biological activity of thieno[2,3-d]pyrimidines, which may have potential in the development of new drugs and pharmacological applications. The aim of the study was to investigate the acylation processes of 2,4-dioxo- and 4-imino-2-oxo-3-phenyl-5-R-6-R'-thieno[2,3-d]pyrimidines and to assess the potential of the synthesised compounds in the development of biologically active substances. To achieve this goal, organic synthesis methods were used. Further analysis of the structure of the obtained compounds included the use of NMR and IR spectroscopy. In the present work, the acylation of 2,4-dioxo- and 4-imino-2-oxo-3-phenyl-5-R-6-R'-thieno[2,3-d]pyrimidines with carboxylic acid acyl halides was carried out. The interaction was carried out with the participation of sodium salts and specific acylating agents under appropriate conditions, which stimulated the formation of the target acylated products. The experimental results showed successful acylation of the starting compounds, which was confirmed by analytical data and spectroscopic characteristics. To fully characterise the obtained compounds, the melting points were measured to confirm the purity and stability of the samples. The presence of acyloxyl groups in the synthesised molecules indicates the successful introduction of an acyl group into the thieno[2,3-d]pyrimidine molecule. An additional analysis of the data obtained showed that alkylation and acylation of the sodium salts occur with the participation of an exocyclic oxygen atom at position 2, which leads to the formation of 2-alk(acyl)oxy-4-oxo(imino)-3-phenyl-5-R-6-R'-thieno[2,3-d]pyrimidines. The data obtained also indicate the potential for further development of the methodology for the synthesis and study of the properties of acylated compounds for their further use in the pharmaceutical industry or other areas aimed at creating new drugs and functional materials.

**Key words:** organic synthesis, reaction mechanisms, carbonyl compounds, reactivity, modification.

### Вступ

Органічна хімія грає важливу роль у вирішенні різноманітних наукових і практичних завдань. Тієно[2,3-d]піримідини відносяться до класу гетероциклічних сполук, які відзначаються різноманітністю потенційних біологічних активностей. Науковий інтерес зумовлений можливістю використання як лікарських засобів та біологічно активних сполук, що відкриває перспективи для подальших досліджень та застосувань в медичній та фармацевтичній галузях.

Для синтезу тієно[2,3-d]піримідинів використовуються різноманітні методи, серед яких особливе значення мають циклізація та конденсація. У праці О.О. Коломойцева (2021) вивчається один з таких методів синтезу і розглядаються реакції циклізації та конденсації для піримідинових похідних. Дослідження Ю.О. Овсянникової та її колег (2014) розширює цей аспект, досліджуючи нові методи синтезу для формування тієно[2,3-d]піримідинового каркасу. Одним з ключових етапів у модифікації тієно[2,3-d]піримідинового ядра є введення замісників, наприклад, карбоксильних груп. У роботі О. Шийка та співавторів (2014) досліджується альтернативний метод синтезу цільових тієнопіримідинів, що ґрунтується на

використанні оксазинових похідних. Аміди були отримані шляхом реакції амінітофену з відповідними хлорангідрідами бензойних кислот за умов ацилювання. Цей метод дозволяє модифікувати хімічну структуру сполук та вдосконалювати їхні властивості з метою подальшого використання у фармацевтичній та медичній практиці.

Метою цього дослідження було ретельне вивчення процесів ацилювання 2,4-діоксо- та 4-іміно-2-оксо-3-феніл-5-R-6-R'-тієно[2,3-d]піримідинів з метою отримання кінцевих продуктів. Також одним із ключових завдань було дослідження умов, які сприяють формуванню цільових сполук.

### Матеріал і методи

У дослідженні алкілювання 2,4-діоксо- та 4-іміно-2-оксо-3-феніл-5-R-6-R'-тієно[2,3-d]піримідинів було проведено за допомогою різноманітних галогенопохідних, таких як алкіл- або ацилгалогеніди, а також акрилонітрилу. Для цих цілей були використані кетони, метиленактивні компоненти (такі як етилцїанацетат та малондинітрил), фенілізоціанат, а також галогенопохідні та акрилонітрил промислового виробництва. Розчинники, такі як бензен, 1,4-діоксан, ДМФА, етанол, метанол та оцтова кислота, були взяті промислового виробництва та

очищені відповідно до встановлених методик. Для віртуального скринінгу синтезованих сполук використовувалась програма PASS 1.703. Під час вивчення властивостей отриманих сполук, було використано різноманітні фізико-хімічні методи. Ці методи сприяли об'єктивній оцінці якості речовин на основі отриманих результатів.

### Результати

2,4-діоксо- та 4-іміно-2-оксо-3-феніл-5-R-6-R'-тієно[2,3-d]піримідини представляють собою сполуки, що мають значний потенціал для хімічної модифікації, є вихідними матеріалами для синтезу нових біологічно активних речовин. Властивості цих сполук, такі як наявність фенільних та тіофенових кілець, створюють можливості для введення функціональних груп в молекулу. Ацилювання дозволило модифікувати структуру тієно[2,3-d]піримідинів, що може призвести до зміни їх фізико-хімічних властивостей.

Ацилювання 2,4-діоксо- та 4-іміно-2-оксо-3-феніл-5-R-6-R'-тієно[2,3-d]піримідинів займає важливе місце в синтезі нових похідних тієно[2,3-d]піримідинів, які мають потенційну біологічну активність. Цей процес передбачає введення ацильної групи (R-CO-) до молекули вихідного тієно[2,3-d]піримідину, що розширює його хімічну реактивність та можливості для подальшого синтезу сполук з біологічною активністю.

Під час реакції ацилювання, спочатку відбувалося формування активного комплексу. На початковому етапі галогенангідрид карбонової кислоти, наприклад, ацетилхлорид чи бензоїлхлорид, реагував з основою, яка представляла собою натрієву сіль тієно[2,3-d]піримідину. Це сприяло утворенню активного комплексу, який міг реагувати з молекулами тієно[2,3-d]піримідину. На другому етапі відбувалася атака, коли активний комплекс взаємодіяв з молекулою тієно[2,3-d]піримідину, зокрема з атомом кисню на позиції 2. Атом кисню відбирав протон від ацильного зв'язку галогенангідриду, що сприяло стабільності інтермедіату.

На третьому етапі відбувалося відновлення ароматичності за рахунок пересування електронів і розщеплення стабільного міжпродукту, що призвело до утворення кінцевого продукту – 2-ацилокси-4-оксо(іміно)-3-феніл-5-R-6-R'-тієно[2,3-d]піримідину. Реакційний механізм передбачав утворення активного комплексу між галогенангідридом та молекулою тієно[2,3-d]піримідину. Це сприяло створенню нового зв'язку між ацильною групою та молекулою тієно[2,3-d]піримідину. У таблиці 1 подані вихідні результати та температури плавлення отриманих сполук 4.2a-j.

Дані елементного аналізу та ЯМР <sup>1</sup>H підтвердили хімічний склад сполук. На протонних спектрах ЯМР були наявні сигнали, що відповідають аліфатичним замісникам у положеннях 4 і 5 тіофенового ядра, а також сигнали ацилоксильного замісника у піримідиновому циклі. Крім того, у діапазоні 7,2-7,6 м.ч спостерігаються сигнали ароматичних протонів. Навпаки, спостерігається відсутність сигналів екзоциклічної групи NH піримідинового циклу, відзначена у 2,4-діоксо-3-феніл-5-R-6-R'-тієно[2,3-d]піримідинів (3.2a-c). Згідно ЯМР екзоциклічний атом кисню в положенні 2 мав значний вплив на процес і алкілювання даних тієно[2,3-d]піримідинів. У цьому випадку термін «екзоциклічний» вказує на те, що атом кисню розташований на зовнішній частині кільця молекули. Під час реакції з ацилгалогенідами, цей атом виступав як нуклеофільний центр, сприяючи утворенню нового зв'язку з ацильним замісником.

Отримані результати дослідження ацилювання 2,4-діоксо- та 4-іміно-2-оксо-3-феніл-5-R-6-R'-тієно[2,3-d]піримідинів відкривають широкі перспективи для подальшого використання у фармацевтичній та хімічній промисловості. Отримані похідні можуть мати великий потенціал у синтезі нових лікарських засобів, таких як антибіотики, протизапальні препарати. Крім того, їхня біологічна активність може бути об'єктом подальших досліджень у пошуку

Таблиця 1

Характеристики сполук

Номер сполуки	T пл.,	Вихід, %	Номер сполуки	T пл.,	Вихід, %
4.2a	281	55	4.2f	279	65
4.2b	276	60	4.2g	282	70
4.2c	288	60	4.2h	275	70
4.2d	267	70	4.2i	270	65
4.2e	259	60	4.2j	279	65

Джерело: матеріал створено автором

нових препаратів з високою ефективністю та безпечністю.

### Обговорення

Отримані результати відкривають широкі перспективи у синтезі органічних сполук. Успішне ацилювання 2,4-діоксо- та 4-іміно-2-оксо-3-феніл-5-R-6-R'-тієно[2,3-d]піримідинів свідчить про ефективність обраного підходу та потенційну використовуваність отриманих продуктів у різноманітних областях.

Важливою частиною виявлення впливу реакційних умов на напрямок реакції та видобуток цільових продуктів. Зокрема, використання певних реагентів та оптимізація умов проведення реакції сприяло утворенню бажаних ацилованих сполук з високим виходом. Сполуки, отримані Н. El-Kashef et al. (2010), за допомогою циклізаційних реакції за різних умов призвели до синтезу різних похідних тієнопіримідину. Деякі з цих похідних далі піддалися іншим реакціям, що призвели до утворення піридо[4',3':4,5]тієно[2,3-d]триазоло[1,5-a]піримідинів. Порівнюючи з попередніми дослідженнями, виявлено ряд важливих відмінностей. Зокрема, деякі показали, що NH<sub>2</sub>- група в тієно[2,3-d]піримідиновому фрагменті сполук виявилася малоактивною та не реагує з хлорангідрідами карбонових кислот та сульфохлорідами. У даному ж дослідженні елементний та спектроскопічний аналіз підтвердили структуру та чистоту отриманих продуктів.

У порівнянні з попередніми, для синтезу використовувалися галогенангідріди карбонових кислот з кислотою і основи, зокрема триетиламін, та реакція протікала при кип'ятінні. Такий підхід дозволив отримати ацильовані тієнопіримідини з високим виходом та визначити умови синтезу цільових сполук. Порівнюючи з раніше використовуваними методами, такий підхід може мати перевагу через вищий вихід продукту і загальну ефективність реакції. Необхідно відзначити, що реакції ацилювання можна проводити у відносно м'яких умовах, що сприяє ефективному та економічному синтезу цільових сполук з мінімальним утворенням побічних продуктів. Ацилюючі агенти, такі як ангідріди кислот дозволяють проводити реакцію з високими виходами, що може досягати до 85%. Хемоселективність надає можливість вибіркового ацилювання тієнопіримідинових сполук, що сприяє контрольованим та цілеспрямованим модифікаціям молекулярної

структури, розширюючи спектр їхніх можливих застосувань.

Структурна диверсифікація, здійснювана через ацилювання похідних тієно[2,3-d]піримідину, є ключовим етапом у введенні різноманітних ацильних груп (R-CO-) на гетероциклічний каркас. Це призводить до синтезу нових похідних зі зміненими фізико-хімічними та біологічними властивостями (Adapa et al., 2023). Стійкість амідного фрагмента ацильних похідних виявилася значною, оскільки дозволила здійснювати селективну модифікацію естерної групи в положенні 2 піримідину. Це ацилювання було необхідним для введення специфічних хімічних груп або функціональних залишків до молекул тієнопіримідину, що має важливе значення для дослідження їхньої біоактивності та подальших застосувань. У ацильованих сполуках даної роботи також відзначилася стійкість амідного фрагмента. Важливим висновком з проведеної роботи є виявлення специфічного механізму реакції, згідно з яким ацилювання відбувається за участю екзоциклічного атома кисню. Ацилювання тієнопіримідинів відкриває широкий потенціал для отримання сполук з різноманітною біологічною активністю. Попередні дослідження свідчать про те, що ацильовані похідні тієнопіримідину можуть виявляти різноманітну біологічну активність, яка робить їх перспективними для застосування в медичних дослідженнях і фармацевтичній промисловості.

Аналізуючи попередні дослідження та спираючись на загальні властивості піримідинових похідних, можна передбачити потенційну біоактивність отриманих речовин. Біологічна активність піримідинових похідних визначається їхньою хімічною структурою та властивостями. Піримідинові сполуки мають унікальну гетероциклічну структуру, яка сприяє їхній взаємодії з біомолекулами у клітині. Ця взаємодія включає утворення водневих зв'язків з білками, нуклеїновими кислотами або іншими біомолекулами, що може впливати на функцію цих систем. Крім того, піримідинові сполуки можуть бути аналогами нуклеотидів і впливати на процеси, пов'язані з ДНК або РНК, такі як реплікація, транскрипція та трансляція генетичної інформації. Дані механізми сприяють біологічній активності піримідинових сполук і можуть бути використані для розробки лікарських засобів. Система тієно[2,3-d]піримідину стала предметом значного зацікавлення як



клас високоефективних протипухлинних препаратів (Seif et al., 2023). Такі сполуки використовуються як основний компонент для створення численних похідних з протипухлинною активністю, як наприклад у E.F. Abdelhaleem et al. (2018). Ця група сполук отримала визнання в дослідженнях R.A. Hassan et al. (2022) та S.B. Salib et al. (2016), де продемонструвала найвищу протиракову активність на лінії клітин яєчників. До того ж, циклоакілатієно[2,3-d]піримідин є трициклічною системою, яка є основою для багатьох протипухлинних похідних. Ця структурна основа широко використовується у синтезі антиракових засобів та виявила високу ефективність в дослідженнях K.M. Al-Taisan et al. (2010), S.A. El-Metwally et al. (2021), Y. El-Dash et al. (2021), а також у H.G. Näcker et al. (2009).

Отже, ацилювання тієнопіримідинів відкриває шлях до розробки нових фармацевтичних засобів із різноманітною біологічною активністю, що може забезпечити розвиток інноваційних препаратів для боротьби з різними захворюваннями (Торохтін і Різак, 2016; Різак, 2023). Подальші дослідження у цьому напрямку включають оптимізацію структури та властивостей сполук для максимальної біологічної активності, аналіз їхнього механізму дії на клітинному рівні, проведення клінічних випробувань для визначення ефективності та безпеки, вивчення можливості розвитку резистентності та розробка стратегій для подолання цієї проблеми, а також подальший розвиток синтетичних методів для забезпечення ефективного виробництва.

#### **Висновки**

У ході експериментів було успішно продемонстровано можливість ацилювання 2,4-діоксо- та 4-іміно-2-оксо-3-феніл-5-R-6-R'-тієно[2,3-d]піримідинів ацилгалогенідами карбонових кислот за участю натрієвих солей та специфічних ацилюючих агентів. Це дозволило отримати цільові ациловані продукти, що були піддані ретельному аналізу. Результати аналітичних досліджень та спектроскопічного аналізу підтвердили ефективне введення ацильних груп до моле-

кули тієно[2,3-d]піримідину, що є ключовим кроком у синтезі нових біологічно активних сполук. Основним завданням було дослідження можливостей ацилювання вказаних піримідинових сполук та вивчення впливу реакційних умов на напрямок реакції та утворення цільових продуктів.

Використання специфічних реагентів та оптимізованих умов реакції дозволило ефективно контролювати хімічну модифікацію молекулярної структури піримідинів. Методика дослідження включала синтез вихідних сполук, аналіз взаємодії з реагентами та спектроскопічні дослідження для підтвердження структури отриманих продуктів. Для проведення аналітичного контролю використовувалися методи елементного аналізу, а також ЯМР <sup>1</sup>H-спектроскопії. Дослідження було виконано відповідно до встановлених стандартів та протоколів. Отримані результати свідчать про успішне ацилювання та формування ацилованих продуктів з високим виходом. Також було вивчено вплив реагентів та умов реакції на напрямок реакції. Виявлено, що ацилювання відбувається за участю екзоциклічного атома кисню, що є важливим для формування кінцевих продуктів. Додатково була проведена оцінка температур плавлення отриманих сполук, що підтвердило їхню чистоту та стабільність.

Це важливий етап для подальших досліджень та застосувань, оскільки стабільність сполук має велике значення для їхньої подальшої обробки та використання в різних галузях науки та промисловості. Перспективи майбутніх досліджень заключаються у вивченні біологічної активності вивчених сполук та їх можливого використання у фармацевтичній галузі для розробки нових препаратів з високою ефективністю та мінімальними побічними реакціями.

#### **Подяки**

Авторка висловлює подяку академіку НАН України проф. Черниху Валентину Петровичу, професору НФаУ Шемчуку Леоніду Антоновичу та професору УжНУ Хрипаку за допомогу у проведенні наукових досліджень та багаторічні наукові консультації.

#### **Список використаної літератури**

- Коломойцев О.О. *Хімія 2,4-дизаміщених похідних 5-формілтiazолу*. Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2021.
- Овсяникова Ю.О. *Метод синтезу 3-аміно-2-R-7-(R1-феніл)-3H-тієно [3,2-d]піримідин-4-онів*. В: *Проблеми синтезу біологічно активних речовин та створення на їх основі лікарських субстанцій: матер. Укр. наук.-практ. конф., присвяч. 100-річчю з дня народження д-ра хім. наук, проф. Павла Олексійовича Петюніна*. Харків: Національний фармацевтичний університет, 2014.

Торохтін О.М., Різак Г.В. Обґрунтування використання фармакологічних засобів (похідних тіофену та піримідину) в комплексному відновлювальному лікуванні. *Медична реабілітація, курортологія, фізіотерапія*. 2016. Т. 4. Вип. 88. С. 24–28.

Шийка О., Походило Н., Обушак М. Синтез тієно[2,3-d][1,3]оксазинів як прекурсорів 3-N-алкіл тієно[2,3-d] піримідинів зі стерично утрудненим Е атомом Нітрогену. *Вісник Львівського університету. Сер.: Хімічна*. 2014. Т. 55. Вип. 2. С. 301–309.

Abdelhaleem E.F., Abdelhameid M.K., Kassab A.E., Kandeel M.M. Design and synthesis of thienopyrimidine urea derivatives with potential cytotoxic and pro-apoptotic activity against breast cancer cell line MCF-7. *Eur. J. Med. Chem.* 2018. Vol. 143. P. 1807–1825. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2017.10.075>.

Adapa S., Kodali U.S., Taneja A.K., Bandaru V., Mandava B.T., Balakrishna B., Mandava B.T., Panigrahi N., Rao M.V.B., Pal M. Ultrasound assisted synthesis of 4-(1H-indol-3-yl)thieno[2,3-d]pyrimidine derivatives via AcOH mediated C C bond forming reaction. *Tetrahedron Lett.* 2023. Vol. 131. P. 154784. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2023.154784>.

Al-Taisan K.M., Al-Hazimi H.M., Al-Shihry S.S. Synthesis, characterization and biological studies of some novel thieno[2,3-d]pyrimidines. *Molecules*. 2010. Vol. 15(6). P. 3932–3957. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules15063932>

El-Dash Y., Elzayat E., Abdou A.M., Hassan R.A. Novel thienopyrimidine-aminothiazole hybrids: Design, synthesis, antimicrobial screening, anticancer activity, effects on cell cycle profile, caspase-3 mediated apoptosis and VEGFR-2 inhibition. *Bioorg. Chem.* 2021. Vol. 114. P. 105137. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2021.105137>.

El-Kashef H., Farghaly A.R., Al-Hazmi A., Terme T., Vanelle P. Pyridine-based heterocycles. Synthesis of new pyrido [4',3':4,5]thieno[2,3-d]pyrimidines and related heterocycles. *Molecules*. 2010. Vol. 15 (4). P. 2651–2666. <https://doi.org/10.3390/molecules15042651>.

El-Metwally S.A., Abou-El-Regal M.M., Eissa I.H., Mehany A.B.M., Mahdy H.A., Elkady H., Elwan A., Elkaeed E.B. Discovery of thieno[2,3-d]pyrimidine-based derivatives as potent VEGFR-2 kinase inhibitors and anti-cancer agents. *Bioorg. Chem.* 2021. Vol. 112. P. 104947. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2021.104947>.

Häcker H.G., de la Haye A., Sterz K., Schnakenburg G., Wiese M., Gütschow M. Analogs of a 4-aminothieno[2,3-d]pyrimidine lead (QB13) as modulators of P-glycoprotein substrate specificity. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2009. Vol. 19 (21). P. 6102–6105. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2009.09.023>.

Hassan R.A., Emam S.H., Hwang D., Kim G.D., Hassanin S.O., Khalil M.G., Abdou A.M., Sonousi A. Design, synthesis and evaluation of anticancer activity of new pyrazoline derivatives by down-regulation of VEGF: Molecular docking and apoptosis inducing activity. *Bioorg. Chem.* 2022. Vol. 118. P. 105487. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2021.105487>.

Rizak G.V. Search for biologically active substances using the example of 2,4-dioxo- and 4-imino-2-oxo-3-phenyl-5-R-6-R'-thieno[2,3-d]pyrimidines, prospects for their use in pharmacy and medicine. *Azerbaijan Pharmaceutical & Pharmacotherapy Journal*, 2023. Vol. 23 (1). P. 29–46. <http://doi.org/10.58495/BUCC4973>.

Salib S.B., Khalil O.M., Kamel M.M., El-Dash Y. Synthesis and antitumor activity of novel thienopyrimidine derivatives containing thiosemicarbazide moiety. *Open Access Library Journal*. 2016. Vol. 3 (7). P. 1–7. <http://dx.doi.org/10.4236/oalib.1102876>.

Seif S.E., Mahmoud Z., Wardakhan W.W., Abdou A.M., Hassan R.A. Design and synthesis of novel hexahydrobenzo[4,5]thieno[2,3-d]pyrimidine derivatives as potential anticancer agents with antiangiogenic activity via VEGFR-2 inhibition, and down-regulation of PI3K/AKT/mTOR signaling pathway. *Drug Dev. Res.* 2023. Vol. 84 (5). P. 839–860. <https://doi.org/10.1002/ddr.22058>.

## References

Kolomojtssev, O.O. (2021). Khimiya 2,4-dyzamishchenykh pokhidnykh 5-formiltiazolu [Chemistry of 2,4-disubstituted 5-formylthiazole derivatives]. Kharkiv: Kharkivskyy natsional'nyy universytet imeni V. N. Karazina [in Ukrainian].

Ovsyannikova, Y.O., Sitnik, K.M., & Chernykh, V.P. (2015). Metod syntezy 3-amino-2-R-7-(R1-fenil)-3N-tiyeno [3,2-d]pirymidyn-4-oniv [A simple method for the synthesis of 3-amino-2-R-7-(R'-phenyl)-3H-thieno[3, 2-d]pyrimidin-4-ones]. In: *Problemy syntezy biolohichno aktyvnykh rehovyn ta stvorennya na yikh osnovi likars'kykh substantsiy: mater. Ukr. nauk.-prakt. konf., prysvyach. 100-richchyu z dnya narodzhennya d-ra khim. nauk, prof. Pavla Oleksiyovycha Petyunina* [Materials

of the Ukrainian Scientific and Practical Conference Dedicated to the 100th Anniversary of the Birth of Doctor of Chemical Sciences, Professor Pavlo Oleksiyovych Petiunin “Problems of Synthesis of Biologically Active Substances and Creation of Medicinal Substances on Their Basis”] (pp. 61). Kharkiv: Natsional'nyy farmamtsevychnyy universytet [in Ukrainian].

Torokhtin, O.M., & Rizak, G.V. (2006). Obhruntuvannya vykorystannya farmakolohichnykh zasobiv (pokhidnykh tiofenu ta pirymidynu) v kompleksnomu vidnovlyuval'nomu likuvanni [Substantiation of the use of pharmacological agents (thiophene and pyrimidine derivatives) in complex rehabilitation treatment]. *Medychna rehabilitatsiya, kurortolohiya, fizioterapiya [Medical Rehabilitation, Balneology, Physiotherapy]*, Vol. 4 (88), 24–28 [in Ukrainian].

Shyyka, O., Pokhodylo, N., & Obushak, M. (2014). Cyntez tiyeno[2,3-d][1,3]oksazyniv yak prekursoriv 3-N-alkil tiyeno[2,3-d] pirymidyniv zi sterychno utrudnenym atomom Nitrohenu [Synthesis of Thieno[2,3-d][1,3]oxazines as 3-N-alkyl Thieno[2,3-d]pyrimidines precursors with sterically hindered nitrogen atom]. *Visnyk Lvivs'koho universytetu. Ser.: Khimichna [Visnyk of the Lviv University. Series Chemistry]*, Vol. 55 (2), 301–309 [in Ukrainian].

Abdelhaleem, E.F., Abdelhameid, M.K., Kassab, A.E., Kandeel, M.M. (2018). Design and synthesis of thienopyrimidine urea derivatives with potential cytotoxic and pro-apoptotic activity against breast cancer cell line MCF-7. *Eur. J. Med. Chem.*, Vol. 143, 1807–1825. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2017.10.075> [in English].

Adapa, S., Kodali, U.S., Taneja, A.K., Bandaru, V., Mandava, B.T., Balakrishna, B., Mandava, B.T., Panigrahi, N., Rao, M.V.B., & Pal, M. (2023). Ultrasound assisted synthesis of 4-(1H-indol-3-yl) thieno[2,3-d]pyrimidine derivatives via AcOH mediated C C bond forming reaction. *Tetrahedron Lett.* Vol. 131, 154784. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2023.154784> [in English].

Al-Taisan, K.M., Al-Hazimi, H.M., & Al-Shihry, S.S. (2010). Synthesis, characterization and biological studies of some novel thieno[2,3-d]pyrimidines. *Molecules.*, Vol. 15 (6), 3932–3957. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules15063932> [in English].

El-Dash, Y., Elzayat, E., Abdou, A.M., & Hassan, R.A. (2021). Novel thienopyrimidine-aminothiazole hybrids: Design, synthesis, antimicrobial screening, anticancer activity, effects on cell cycle profile, caspase-3 mediated apoptosis and VEGFR-2 inhibition. *Bioorg. Chem.*, Vol. 114, 105137. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2021.105137> [in English].

El-Kashef, H., Farghaly, A.R., Al-Hazmi, A., Terme, T., & Vanelle, P. (2010). Pyridine-based heterocycles. Synthesis of new pyrido [4',3':4,5]thieno[2,3-d]pyrimidines and related heterocycles. *Molecules.* Vol. 15 (4), 2651–2666. <https://doi.org/10.3390/molecules15042651> [in English].

El-Metwally, S.A., Abou-El-Regal, M.M., Eissa, I.H., Mehany, A.B.M., Mahdy, H.A., Elkady, H., Elwan, A., & Elkaeed, E.B. (2021). Discovery of thieno[2,3-d]pyrimidine-based derivatives as potent VEGFR-2 kinase inhibitors and anti-cancer agents. *Bioorg. Chem.*, Vol. 112, 104947. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2021.104947> [in English].

Häcker, H.G., de la Haye, A., Sterz, K., Schnakenburg, G., Wiese, M., & Gütschow, M. (2009). Analogs of a 4-aminothieno[2,3-d]pyrimidine lead (QB13) as modulators of P-glycoprotein substrate specificity. *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, Vol. 19 (21), 6102–6105. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2009.09.023> [in English].

Hassan, R.A., Emam, S.H., Hwang, D., Kim, G.D., Hassanin, S.O., Khalil, M.G., Abdou, A.M., & Sonousi, A. (2022). Design, synthesis and evaluation of anticancer activity of new pyrazoline derivatives by down-regulation of VEGF: Molecular docking and apoptosis inducing activity. *Bioorg. Chem.*, Vol. 118, 105487. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2021.105487> [in English].

Rizak, G.V. (2023). Search for biologically active substances using the example of 2.4-dioxo- and 4-imino-2-oxo-3-phenyl-5-R-6-R'-thieno[2,3-d]pyrimidines, prospects for their use in pharmacy and medicine. *Azerbaijan Pharmaceutical & Pharmacotherapy Journal*, Vol. 23 (1), 29–46. <http://doi.org/10.58495/BUCC4973>. [in English].

Salib, S.B., Khalil, O.M., Kamel, M.M., & El-Dash, Y. (2016). Synthesis and antitumor activity of novel thienopyrimidine derivatives containing thiosemicarbazide moiety. *Open Access Library Journal*, Vol. 3 (7), 1–7. <http://dx.doi.org/10.4236/oalib.1102876> [in English].

Seif, S.E., Mahmoud, Z., Wardakhan, W.W., Abdou, A.M., & Hassan, R.A. (2023). Design and synthesis of novel hexahydrobenzo[4,5]thieno[2,3-d]pyrimidine derivatives as potential anticancer agents with antiangiogenic activity via VEGFR-2 inhibition, and down-regulation of PI3K/AKT/mTOR signaling pathway. *Drug Dev. Res.*, Vol. 84 (5), 839–860. <https://doi.org/10.1002/ddr.22058> [in English].

Отримано: 16.07.2024

Прийнято: 13.08.2024



## АГРОНОМІЯ

UDC 621.311.245:63:502.5

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.14>

### IMPACT OF SMALL WIND TURBINES ON THE SURROUNDING AND AGRICULTURAL ENVIRONMENT

**A. Borusiewicz<sup>1</sup>, Ł. Pisarek<sup>2</sup>**

*This study aims to present the impact of wind turbines on the agricultural environment. Scientific articles and publications have been analysed. The performance characteristics of wind turbines and their wide-ranging effects as a renewable energy source are presented. A questionnaire survey was conducted to obtain detailed information on the appropriateness of building wind turbines near residential areas and agricultural communities. It was carried out in December 2023 in Mszczonów using a survey questionnaire. The research group was people living in areas close to wind farms.*

*A comparative analysis shows that the benefits of building wind farms outweigh the losses. Wind power plants are built on land and at sea, providing energy security for the modern economy and civilisational development. In contrast to coal and gas, the low cost of electricity production in wind power plants is beneficial for their rapid development. In addition, wind power plants do not emit harmful compounds into the atmosphere, making them environmentally friendly and reducing global warming. The surveyed farmers pointed out the acquisition of cheaper energy for their farms and the possibility of leasing land to construct turbines, which increases their income. Wind energy has the most significant energy potential among all renewable energy sources, so its expansion will positively impact the Polish economy.*

**Key words:** *renewable energy sources, wind power plant, offshore power plant, environment, agriculture, landscape.*

### ВПЛИВ МАЛИХ ВІТРОВИХ ТУРБІН НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ТА СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО

**А. Борусевич, Л. Пісарек**

*Метою цієї роботи є дослідження впливу вітрових турбін на сільськогосподарське середовище. Проаналізовано наукові статті та публікації з зазначеної вище тематики. Представлено експлуатаційні характеристики вітрових турбін та їх широкий спектр впливу як відновлюваного джерела енергії. Проведено анкетне опитування для отримання детальної інформації щодо*

<sup>1</sup> Associate Professor, DSc, Phd, Eng.  
(International Academy of Applied Sciences in Lomza)  
e-mail: Andrzej.borusiewicz@mans.edu.pl  
ORCID: 0000-0002-1407-7530

<sup>2</sup> Master Eng.,  
(International Academy of Applied Sciences in Lomza)  
e-mail: lukaszp0610@gmail.com  
ORCID: 0009-0003-1703-6974

доцільності будівництва вітрових турбін поблизу житлових районів та сільськогосподарських громад. Опитування проводилося у грудні 2023 року в Мицоніві (Польща) з використанням анкетування. Дослідницькою групою були люди, які проживають у районах, близьких до вітрових електростанцій.

Результати порівняльного аналізу засвідчують, що переваги будівництва вітрових електростанцій переважають над втратами. Вітрові електростанції будуються на суші і на морі, забезпечуючи енергетичну безпеку для сучасної економіки і розвитку цивілізації. На відміну від вугілля і газу, низька собівартість виробництва електроенергії на вітрових електростанціях сприяє їх досить швидкому розвитку. Крім того, вітрові електростанції не викидають шкідливих сполук в атмосферу, що робить їх екологічно чистими і сприяє послабленню темпу та інтенсивності глобального потепління. Опитані у процесі дослідження фермери відзначили отримання дешевшої енергії для своїх господарств та можливість оренди землі для будівництва турбін, що сприяє значному збільшенню їхніх доходів. Підтверджено, що вітроенергетика має найбільший енергетичний потенціал серед усіх відновлюваних джерел енергії, оскільки її поширення та розбудова є перспективною і може мати позитивний вплив на польську економіку.

**Ключові слова:** Відновлювані джерела енергії, вітрова електростанція, офшорна вітрова електростанція, навколишнє середовище, сільське господарство, ландшафт.

## Introduction

Innovative technologies, regulatory changes, and global environmental initiatives shape wind power development. Globally, wind energy contributes around 3% of global electricity consumption. The European Union aims to make Europe the first continent to use wind power by 2050. Europe became the first continent to become climate-neutral. Zero greenhouse gas emissions is a goal that requires the implementation of long-term solutions and the emergence of new investments. “In July 2021, The Commission adopted ‘Fit for 55’ – a package of proposals to align the EU’s climate, energy, land use, transport and tax policies to achieve the CO<sub>2</sub> reduction target by 2030” (Fragkiadakis & Vrontisi, 2023).

Wind energy is related to wind power. Winds that blow over land where wind turbines can be built have a global energy potential of 40TW. Economic considerations say that winds blowing less than 100m are used most often, but investors plan to build windmills over 200m. The energy sector in Poland is dependent on external oil supplies. “Windmills can be part of a sustainable energy mix in Poland to support the decarbonisation process and reduce dependence on fossil fuel supplies” (Polish Wind Energy Association, 2022). Energy policy requires a new approach, as the construction of wind turbines is about onshore and offshore energy. The development of three types of wind installations is recommended: wind farms, i.e., the siting of clusters of dozens of wind turbines; distributed wind energy, i.e., individual wind turbines of small capacity; and offshore wind power plants. In addition, “solar sources should be an investment compliment, as their joint operation results in a more stable energy

supply for consumers” (Ehrenhalt, 2022). Particularly attractive for building offshore wind farms are areas such as the Baltic Sea coast, the open areas of Warmia, Mazury, and Pomerania, the foothills of southern Poland, Podkarpacie and Lower Silesia. The first Polish private energy group to do so is Polenergia SA, which has received a positive decision from the Regional Directorate for Environmental Protection in Gdansk regarding constructing the Maritime Wind Farm Bałtyk Środkowy III. “The wind farm construction is preceded by the installation port in Swinoujscie, which is expected to be ready between 2024 and 2025. Construction of Baltic Power will begin next year with the foundations. In 2025, 76 Vestat turbines of 15 MW each are scheduled to be installed. The first electricity from the farm is expected to flow in 2026” (Zieniewicz, 2022). It is worth mentioning that the Baltic Power offshore wind farm project won the European Transaction 2023 award.

“Unlike power plants powered by conventional energy sources, wind power generation does not require any fuel, so no toxic compounds are released into the atmosphere, and no waste is created. In addition, the absence of fuel means that there are no costs associated with it, which frees the price of wind power from the fluctuating prices of coal, oil, natural gas, or nuclear fuel. With the prospect of a continued decline in conventional fuel stocks, wind power’s steady (and even falling) price encourages investment in this energy source” (Kmieciak & Smiech, 2019).

New power plants are being adapted using renewable energy sources from solar panels and wind turbines. On 23 April 2023, an amendment to the Windmill Act came into

force, which requires wind turbines to be built within 700m of buildings. Local communities will make decisions on the development of windmills within a municipality, considering the local spatial plan. In order to assess the minimum distance – between 10 times the maximum height of a wind turbine (the10H rule) and the minimum distance for residential buildings of 700m, a strategic environmental impact assessment (SEA) will need to be carried out as part of the LSDP. The Wind Act also introduces minimum distances of wind turbines from electricity transmission lines and prohibits the construction of residential buildings near existing wind turbines (Pisarek, 2024).

Poland’s energy policy is based on the Energy and Climate Package. It stipulates that trading in greenhouse gas emissions caused by extracting primary energy requires special permits. The European Commission wants to bring about a reduction in free allowances at an accelerated pace. “Maritime transport is to join the ETS, and the aviation rules will be tightened. On the model of the ETS, a separate mechanism is to be created for transport, construction and the insulation of buildings, which means that the CO<sub>2</sub> emission costs will also be imposed on these sectors.” (European Commission, Fit for 55 2021 package). Figure 1 shows the data related to wind farm revenues in Poland.

It can be seen from the graph above that wind companies are among the most profitable subsectors for acquiring electricity, which has a positive impact on the Polish industry. Areas with varying wind conditions influence the efficiency of wind turbines. “Poland’s National Electricity System, with a total installed capacity of more than 61.4 GW, is primarily based on coal-fired sources. Large fossil fuel-fired power plants and combined heat and power plants dominate the electricity sector. As of February 2023, their combined share of the installed capacity of the NPS was approximately 59.3%” (DWF Guide, 2023). The coastal belt represents the most critical ground for establishing onshore and offshore turbines. The IMGW Meteorology Centre has developed a division of Poland according to wind energy zones, as shown in Figure 2.

It is a fact that wind turbines affect the natural environment and people. Noise, electromagnetic field emissions, stroboscopic effects, glare, fire, and ice hazards are noted. Developer work must, therefore, consider the provincial spatial plan and its suitability. Many farms also undergo an environmental impact assessment and receive an environmental decision for a viable project. It is a myth that wind turbines contribute to mass bird deaths. In Poland, a monitoring system has been developed, allowing HD cameras to be mounted on windmill towers to warn of danger



Fig. 1. Revenues and financial performance of wind farms in Poland

Source: compiled from Central Statistical Office data [Derski B., 2021].

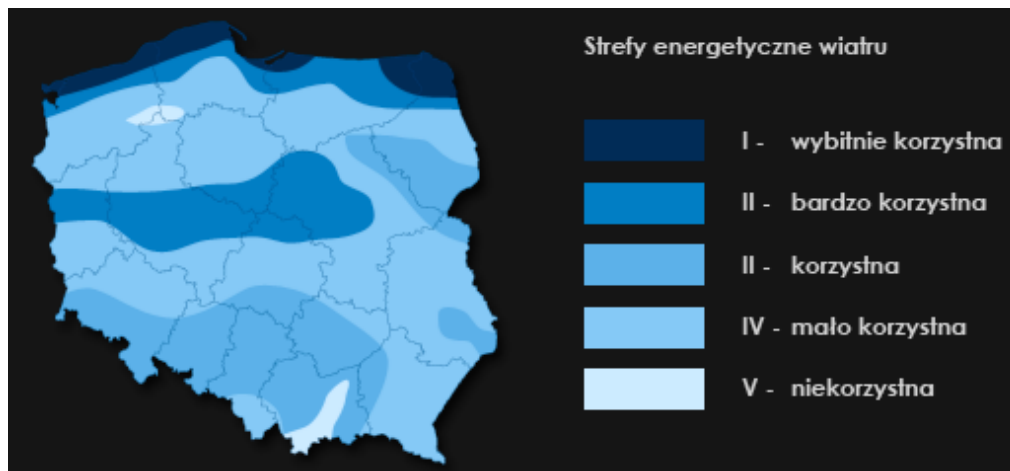


Fig. 2. Map of the division of Poland into wind zones

Source: Study from IMGW Meteorology Centre

with warning signals such as light, sound, or automatic turbine stopping. “The tests carried out have confirmed the effectiveness of the system. The camera can detect up to 80% of a flying red kite within 400m of a wind turbine. The system also reduces the intermittent turbine-only collision with the bird by almost 80%. False detections are only 4% of the time. With this system, birds effectively avoid the wind turbine obstacle” (Pisarek, 2024).

Malfunctions of wind turbines are possible and sometimes result from causes beyond human control. These result in financial losses. Factors contributing to turbine failures include lightning, which damages turbine components through tall structures mounted in the open. Existing lightning protection is designed to protect the turbines from the consequences of failure. Another factor is the detachment of components or entire rotor blades, which is counteracted by periodic maintenance by specialised service teams. The greatest threat, however, is icing and turbine fires. Icing mainly affects areas with cold climates, such as in the mountains. Ice detaching from the windmill and blades is sometimes the most common cause of failures and accidents associated with wind turbines. Fires, conversely, usually involve flammable components such as the nacelle, tower, and the sub-installation to which the turbine is connected. Malfunctions are caused by lightning strikes, damage to electrical circuits, formation of high resistances due to poor connection between mating components, overvoltages in transformer windings, mechanical damage to generators, high surface temperatures caused by the operation of the mechanical brake, high

temperatures caused by lack of or insufficient lubrication of mechanical components and improper maintenance. The solution may lie in using systems that detect fires quickly and training wind turbine operators so that timely damage detection will prevent future fires.

Wind energy is also essential for the agricultural environment. Household wind turbines are an investment with financial and environmental benefits, as wind energy is one of the cleanest renewable sources. Reduced carbon dioxide emissions and less dependence on conventional energy sources are vital arguments for such an investment. “Landowners on which investors want to build wind turbines can gain additional funding. Data shows that in 2022. A farmer earned around PLN 16,000. per year even if the windmill was not located on his agricultural land” (Zieniewicz, 2022).

Wind turbines for the farmers produce electricity through the power of the wind. The windmill turbine converts the kinetic energy from the wind into mechanical energy from which the rotor rotates. It makes the windmill capable of powering any business. Different power production values can be achieved depending on the turbine’s power. A small installation of 2kW can quickly meet a seasonal cottage’s needs, possibly reducing the electricity bill and power lighting and some electronics. Typically, a 5kW wind installation should cover the needs of a smaller farm. With this solution, farmers do not have to worry about rising electricity prices or even think about using renewable energy from the turbine to heat their home or heat domestic hot water.

Wind turbines often trigger discussions regarding landscape degradation. There is a perceived divide in the public perception of wind farms. Some people state the need for RES development, but on the other hand, concerns about the visual impact of wind turbines cause much concern. “Conducted by the team of K. Molnarov and colleagues, the study aimed to objectify this impact and identify the factors determining how people evaluate these constructions. The visual quality of the landscapes in which these structures are to be placed, the number of structures and their distance from the viewer, and various characteristics of the respondents were studied. It was found that wind turbines are also better accepted if their number in the landscape is limited and if the structures are far from viewpoints such as settlements, transport infrastructure, and viewpoints” (Jasiński & Kacejko, 2022). The CBOS survey confirms that the majority of Poles are in favour of building wind turbines. Figure 3 presents the results.

The problem is still insufficient subsidies for windmill investments, which delays their creation. The Environmental Protection and Water Management Fund wants to introduce the ‘Moja elektrownia wiatrowa 2024’ programme, which will offer 400 million, guided by environmental objectives and the desire to increase the energy efficiency of Polish households. “It offers a unique opportunity to subsidise the purchase and installation of wind turbines of up to 20kW, including a 10kw backyard wind turbine

and a 5kw backyard wind turbine, as well as associated energy storage facilities. Under the programme, beneficiaries can expect to cover up to the eligible costs of the installation, with a maximum grant of up to PLN 30,000 for a household wind turbine and up to PLN 17,000 for an energy storage facility” (Environmental Protection and Water Management Fund 2024).

### Material and methods

The study aimed to report on the impact of small wind turbines on the surrounding and agricultural environment. The main research problem was formulated:

1. What impact do wind turbines have on the agricultural environment?

The research scope concerned the literature analysis on the subject and the survey results conducted in Mszczonów. Based on the primary research problem, specific research questions were formulated:

1. What benefits and losses do wind turbines generate for farmers?

2. Do farmers benefit from the energy generated by wind turbines?

3. What impact do wind turbines have on the human and animal environment?

4. What are the advantages and disadvantages of building wind turbines near farmers’ homes?

Farmers who live near wind turbines and benefit from the energy they generate participated in the survey. Based on a survey questionnaire, the respondents answered questions about the rationale for building wind turbines and their environmental impact. The

CBOS

RYS. 1. Farmy wiatrowe umożliwiają pozyskiwanie energii elektrycznej z wiatru. Czy popiera Pan(i) rozwój lądowych farm wiatrowych w Polsce czy też nie?

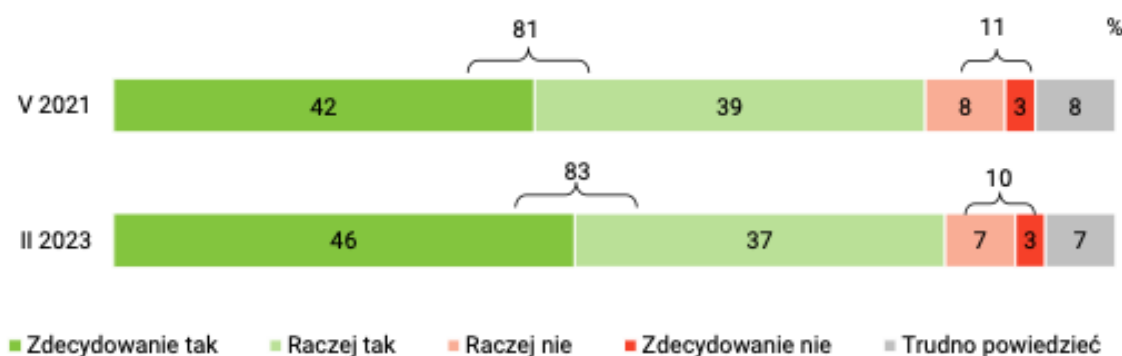


Fig. 3. Poles’ opinion on the construction of wind farms in Poland

Source: CBOS study



survey included ten closed questions and six open questions. The survey was intended for 100 people, but 96 responded. 4 questionnaires were not returned.

The main wind power plant in Mszczonów is located on the industrial premises of the “KERAMZYT” Light Aggregate Company. It is located close to people’s places of residence, where 1MW and 2 MW turbines have been in operation since 2012. Mszczonów residents objected to constructing further turbines, but the Mszczonów site council rejected the complaint. The benefits of the wind turbines helped the decision. The residents of Mszczonów in this study will be able to comment on the current turbines and those newly constructed, allowing the research questions to be answered more accurately.

### Results

The answers to the open-ended question show that building wind turbines near farmers’ homes generates more benefits than losses. The benefits include less pollution in the air, energy generation at a low cost, farmers

benefiting from cheaper energy for households and agriculture, and the possibility of leasing land to investors who want to build a small wind turbine. Among the losses are the negative impact on the landscape, the undervaluation of the land when sold, and noise emissions. Table 1 presents the results.

The respondents live in areas in the Mazovia region where small wind turbines operate. All confirmed that there are wind turbines in their area. Residents did not specify the number of wind turbines in their area but answered a question about their opinion on the development of wind farms in Poland (Fig. 4).

Most farmers believe that turbines impact the agricultural environment (80 people) and acknowledge that they benefit from the energy generated by wind turbines. Sixteen people denied this. There were 48 responses regarding the impact in relation to the price of the energy harvested (Table 2).

According to farmers, wind turbines impact human and animal life. Thirty-two people

Table 1

Benefits and losses of building wind turbines according to farmers

Benefits	Persons	Losses	Persons
Less pollution in the air	12	Negative impact on the landscape	8
Low-cost energy generation	24	Under-valuation of land for sale	24
The use by farmers of cheaper domestic and agricultural energy	20	Noise emissions	16
Possibility of giving away land investors	12		

Source: own elaboration based on own research, \* respondents answered the open question

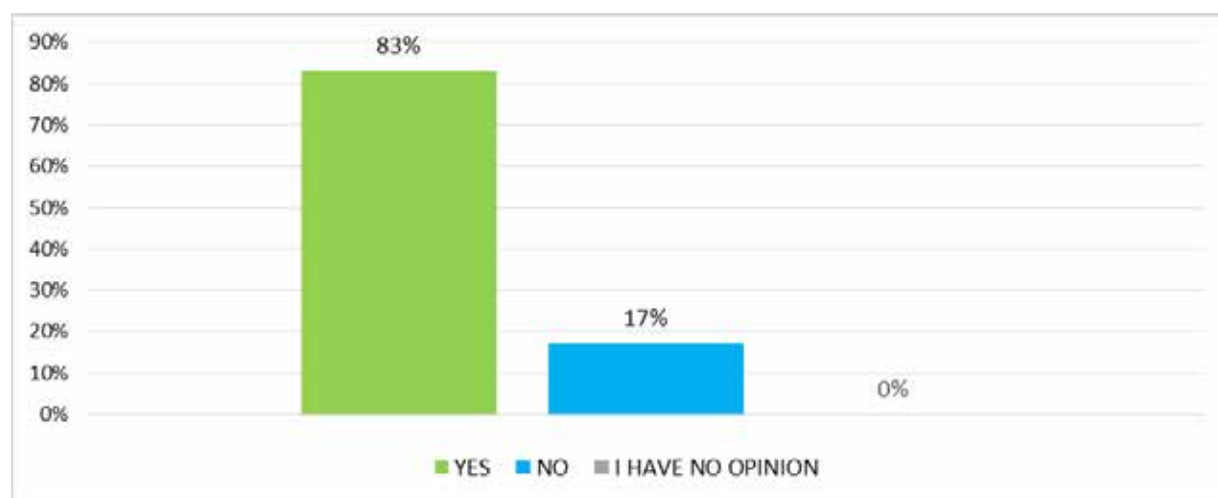


Fig. 4. “Impact of wind turbines on the agricultural environment”

Source: compiled from own research

Table 2

“Farmers’ views on the impact of wind turbines”

Impact of wind turbines	Quantity answers provided
The most visible impact is in relation to the price of the energy generated	48

Source: compiled from own research, \* respondents answered the open question

stated that humans feel the presence of the turbines, while four people have no opinion on the subject. Among the sensations mentioned were lousy mood, headaches, insomnia, irritation, and sleepiness. These feelings can be exacerbated by low-frequency noise and hum and the generation of electromagnetic fields. Fifty-six farmers stated that the turbines do not impact the animal environment, while 40 confirmed this theory. Large wind installations are now equipped with warning systems in light signals, sound signals, or automatic turbine stops. Such measures are designed to prevent collisions between birds and turbines (Fig. 5, Table 3).

Table 3  
 “Self-perception of surveyed people living near wind turbines”

Self-assessment	The number of replies given
Poor well-being	32
Nervousness	8
Headaches	32
Insomnia	32
Drowsiness	8
Imbalances	-
Respiratory infections	-
Other	-

Source: compiled from own research, \* respondents answered the open question

The farmers surveyed pointed out the advantages and disadvantages of building wind turbines near their homes. Among the advantages emerged again: the acquisition of cheaper energy for households and farms, the possibility of leasing land for the construction of wind farms, the development of new technologies, and the reduction of air pollution. The most significant disadvantage, and the reason for not building wind farms, is the still small amount of funding that would contribute to farmers willingly reaching for an energy solution such as domestic small wind farms. Other disadvantages include landscape degradation, noise-causing people to move to quieter places and the dangers of ice and fires (Table 4).

## Discussion

The findings confirm that wind turbines have an impact on the agricultural environment. Respondents indicated that the benefits outweigh the losses, making the case for developing wind farms onshore and offshore.

Renewable energy sources are an indisputable part of international climate and energy policy. They influence the development of the economy, including the agricultural economy. Wielewska I. et al. (2017) consider that RES influences energy demand growth. Napieraj K. and Stańczak M. (2013) argue that wind turbines contribute to the production of energy in an environmentally friendly way, as they contribute to the elimination of toxic waste, which is also confirmed by the results of this study. CBOS surveyed Poles’ attitudes towards onshore wind energy, which found that ‘the vast majority of Poles (83%) support the development of onshore wind energy, with only a few (10%) taking an opposing stance on the issue. Compared to the results from nearly two years ago, the public’s attitude on this issue has not changed. [...] A wind farm near where they live would be accepted by more than two-thirds of those surveyed (68%), while more than one-fifth (22%) would oppose its construction. For less than two years, the level of approval of the presence of wind turbines near the place of residence has increased slightly (by five percentage points)’ (CBOS..., 2023). The formation of public opinion regarding the construction of wind turbines is possible thanks to the media, which determines the scale of onshore and offshore wind energy development (Bednarek-Szczepańska, 2023).

Piotr Kacejko gave an interview to Oko Press (2023) in which he was unequivocal about the lack of data confirming the harmful effects of wind turbines on humans. He discussed a study conducted among employees of factories close to the farms. “According to a report published by Prof. Dariusz Pleban of the Central Institute for Labour Protection, 54 percent of people employed at sites between 0.5 and 1 km from the turbines can hear their sound. However, the survey results indicated

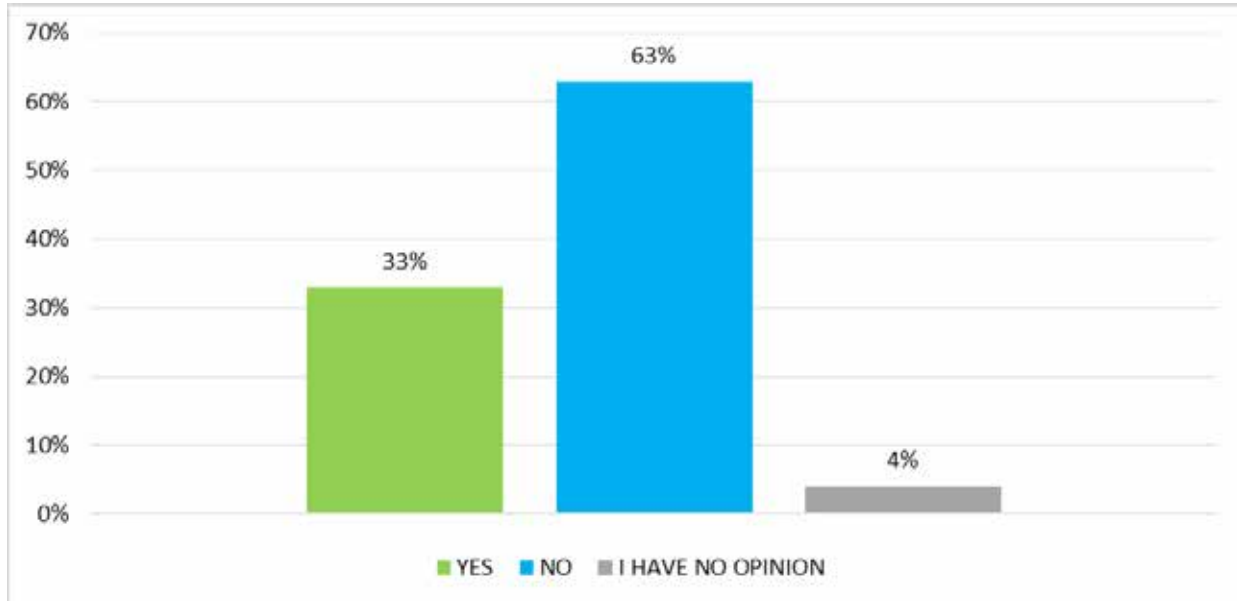


Fig. 5. “Impact of turbines on human well-being according to people surveyed”  
 Source: compiled from own research

that workers generally felt little discomfort at sound levels below 50 dB – audible at distances of less than 100 meters from the turbine, according to Prof Kacejka.” This study shows that most farmers believe that human beings are slightly affected by noise from turbines.

Concerning environmental and animal risks, modern wind turbines have a monitoring system to detect birds approaching the turbines. According to a study by the British Ecological Society, modern monitoring has made it possible to reduce bird mortality in wind farm areas by 82%. Farmers also believe that wind turbines do not contribute to bird or animal mortality.

According to Janusz Gajowiecki, President of the Management Board of the Polish Wind Energy Association, subsidies for constructing small wind farms will increase. Furthermore,

subsidies are envisaged for farmers and local investors who decide to build wind farms. The Ministry of Climate and Environment intends to include subsidies for small wind turbines in the Current programme. A public consultation on the details of this project ended on 5 February 2024. Support for small wind turbines is to be launched as early as 2024. “The development of this technology in Poland is also in line with the main principles of the European Green Deal, an EU programme aimed at achieving the EU’s offshore renewable energy strategy” (Senate Office..., 2020).

In summary, wind turbines have both advantages and disadvantages. The main advantages include using renewable wind energy and avoiding harmful emissions. These power plants can be built quickly and relatively cheaply and do not require a fuel

Table 4  
 Advantages and disadvantages of building wind turbines near farmers’ homes

Benefits	Persons	Failures	Persons
"Sourcing cheaper energy for households and agriculture"	72	"Insufficient amount and quantity of subsidies for the construction of small wind farms"	36
"The possibility of leasing land for the construction of a wind power plant"	12	"Landscape degradation"	8
"Development of new technologies"	12	"Noise causing people are moving to quieter places"	20
"Reducing air pollution"	12	"Ice and fire hazards"	16

Source: compiled from own research, \* respondents answered the open question

supply. On the other hand, the disadvantages are the instability of power production and the potential negative environmental impact. In order to fully exploit the potential of wind power, it is necessary to integrate it harmoniously into the electricity system. "The entry into force of the Law of 8 February 2023 should contribute to the development of local businesses directly or indirectly related to the construction of wind power plants in the area and may also have a positive impact on the construction industry related to housing, due to the abolition of the 10H rule for the construction of residential houses in the vicinity of a wind power plant. Unlocking municipal development in this area will have a positive social and economic dimension".

### Conclusions

Based on the literature shown and the survey carried out in Mszczonów, the following conclusions can be drawn:

Sixty-eight farmers believe that wind turbines generate more benefits than losses. Among the benefits, less air pollution, obtaining energy at a cheaper cost, and the possibility of leasing land for wind turbines were singled out. 8 include landscape degradation among the losses.

All the farmers surveyed live in areas close to wind turbines and benefit from the energy extracted from them.

Respondents most appreciated the low energy price of wind turbines (44 respondents).

Farmers cited the advantages of wind turbines in terms of the low cost of energy production (72 people), the possibility of making a profit by leasing land (12 people), and the development of new technologies (12 people). Disadvantages included noise from the turbines (20 people), degradation of the landscape, and a factor that plays a decisive role in the construction of turbines, as well as the low subsidies for the construction of wind turbines (36 people).

The above considerations, the literature analysis, and the research results have led to the main research problem. The validity of building wind turbines, including those close to where people live, has been established. The new technology makes it possible to obtain cheaper energy, reducing air pollution. Building turbines close to homes allows the use of energy produced at a low cost, reducing maintenance costs. In addition, the subsidies planned for creating this type of investment will promote the construction of small wind turbines near farms.

### Bibliography

Bednarek – Szczepańska M. Wizerunek energetyki wiatrowej i jej oddziaływania na społeczeństwo w świetle doniesień mediów regionalnych i lokalnych w Polsce. *Czasopismo Geograficzne*. 2023. Vol. 94 (2), p. 263–288. <https://doi.org/10.12657/czageo-94-11>.

CBOS Public Opinion Research Centre. *Opinions on wind energy*, Vol. 2, p. 2–3.

Derski B. Giant profits of wind farms. 2021. [Electronic resource] URL: <https://wysokienapiecie.pl/36763-gigantyczne-zyski-farm-wiatrowych/> (access date 24.02.2024).

DWF. Guide to the Polish RES auction system.

Ehrenhalt W. Opinion of the ZPP Chief Expert on Energy: Prospects for the development of wind farms and photovoltaic sources in light of the laws currently under procedure. *ZPP*, Warsaw, 2022. 1–2.

Fragkiadakis K., Vrontisi Z. (Ed.) Publications Office of the European Union. *Fit for 55 climate package: Impact on EU employment by 2030*, Luxembourg, 2023. P. 1.

Environmental Protection and Water Management Fund. 2024. *My Wind Power Plant 2024 – Funding and Grants*, 2024. P. 1.

Jasiński A.W., Kacejko P. (Ed.) Wind power plants in the human environment, Monographs, Lublin. 2022.

Chancellery of the Senate, Office of Analyses, Documentation and Correspondence. *Morskie Farmy Wiatrowe – aktualna sytuacja w Polsce i na świecie*, Warsaw, 2020. P. 4.

Chancellery of the Senate, Office of Analyses, Documentation and Correspondence 2023 Assessment of the Regulatory Effects of the Provisions of the Act on Amendments to the Act on Investments in Wind Power Plants and Certain Other Acts, Opinions and Expert Reports, Warsaw.

Kmiecik M., Śmiech S. (Ed.) Wind energy as a component of the national energy security system. *International Security Yearbook*, 2019. P. 294.

Napieraj K., Stańczak M. Advantages and barriers of wind energy development. Jan and Jędrzej Śniadecki University of Technology and Life Sciences in Bydgoszcz. 2013.

Pisarek Ł. Wind power plants and the shaping of the agricultural environment. Łomża. 2024.

Polish Wind Energy Association. *Potential of offshore wind energy in Poland*. Warsaw, 2022. pp. 1–10.

Council of the Union of the European Commission. *Fit for 55 package*, 2021. pp. 1–12.

Wielewska I., Sobczyk W., Gliniak M. Energy from renewable sources as social welfare according to the opinion of Polish farmers. *Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinesis*, 2017. Vol. 333 (86). P. 93.

Zieniewicz R. How much will you earn for leasing agricultural land for a wind installation in 2022–2022. [Electronic resource] URL: <https://www.farmer.pl/biznes/ile-zarobisz-za-dzierzawe-gruntu-rolnego-pod-instalacje-wiatrowa-w-2022-r,118182.html> (access date 20.02.2024) [in English].

## References

Bednarek – Szczepańska M. (2023). Wizerunek energetyki wiatrowej i jej oddziaływania na społeczeństwo w świetle doniesień mediów regionalnych i lokalnych w Polsce [The image of wind energy and its impact on society in the light of regional and local media reports in Poland]. *Czasopismo Geograficzne [Geographical Journal]*. 94 (2), 263–288. <https://doi.org/10.12657/czageo-94-11> [in Polish].

CBOS Public Opinion Research Centre. *Opinions on wind energy*, 2, 2–3 [in English].

Derski, B. (2021). Giant profits of wind farms. [Electronic resource] URL: <https://wysokienapiecie.pl/36763-gigantyczne-zyski-farm-wiatrowych/> (access date 24.02.2024) [in English].

DWF. Guide to the Polish RES auction system [in English].

Ehrenhalt, W. (2022). Opinion of the ZPP Chief Expert on Energy: Prospects for the development of wind farms and photovoltaic sources in light of the laws currently under procedure. *ZPP*, Warsaw, 1–2 [in English].

Fragkiadakis, K., & Vrontisi, Z. (ed.). (2023). Publications Office of the European Union. *Fit for 55 climate package: Impact on EU employment by 2030*, Luxembourg, 1 [in English].

Environmental Protection and Water Management Fund. (2024). *My Wind Power Plant 2024 – Funding and Grants*, 1 [in English].

Jasiński, A. W., & Kacejko, P. (ed.) (2022). Wind power plants in the human environment, Monographs. Lublin [in English].

Chancellery of the Senate, Office of Analyses, Documentation and Correspondence. (2020). *Morskie Farmy Wiatrowe – aktualna sytuacja w Polsce i na świecie*, Warsaw, 4 [in English].

Chancellery of the Senate, Office of Analyses, Documentation and Correspondence 2023 Assessment of the Regulatory Effects of the Provisions of the Act on Amendments to the Act on Investments in Wind Power Plants and Certain Other Acts, Opinions and Expert Reports, Warsaw [in English].

Kmiecik, M., & Śmiech, S. (ed.) (2019). Wind energy as a component of the national energy security system. *International Security Yearbook*, 294 [in English].

Napieraj, K., & Stańczak, M. (2013). Advantages and barriers of wind energy development. Jan and Jędrzej Śniadecki University of Technology and Life Sciences in Bydgoszcz [in English].

Pisarek, Ł. (2024). Wind power plants and the shaping of the agricultural environment. Łomża [in English].

Polish Wind Energy Association. (2022). *Potential of offshore wind energy in Poland*. Warsaw, pp. 1–10 [in English].

Council of the Union of the European Commission. (2021). *Fit for 55 package*, pp. 1–12 [in English].

Wielewska, I., Sobczyk, W., & Gliniak, M. (2017). Energy from renewable sources as social welfare according to the opinion of Polish farmers. *Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinesis*, 333 (86), 93 [in English].

Zieniewicz, R. (2022). How much will you earn for leasing agricultural land for a wind installation in 2022? [Electronic resource] URL: <https://www.farmer.pl/biznes/ile-zarobisz-za-dzierzawe-gruntu-rolnego-pod-instalacje-wiatrowa-w-2022-r,118182.html> (access date 20.02.2024) [in English].

Отримано: 02.08.2024  
Прийнято: 13.08.2024



UDK 633.34:631.53.04(477.5)(292.485)  
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.15>

## STUDY OF VARIETAL TECHNOLOGY OF SOYBEAN GROWING IN THE CONDITIONS OF CLIMATE CHANGE

I. M. Didur<sup>1</sup>, H. V. Pantsyreva<sup>2</sup>, A. B. Holovanuk<sup>3</sup>, V. M. Kovalchuk<sup>4</sup>

*The study is devoted to the study of the territorial transformation of the «soybean belt» in Ukraine and the world under conditions of climate change on the basis of soil conservation. The prerequisites for the establishment of a new stage in the production of soybean seeds are detailed, which will contribute to the rational use of hydrothermal resources of the region, the increase of production volumes, the biologicalization of agriculture, and the production of high-quality, organic products. It was found that the organic production of soybean seeds is one of the strategic directions of the accelerated development of the agro-industrial complex of Ukraine and the main goal of the European Green Course, which regulates the transformation of Europe into a climate-neutral continent. The study was conducted, which is devoted to the issue of Ukraine's achievement of the goals of sustainable development: Goal 2. Overcoming hunger, achieving food security, improving nutrition and promoting the sustainable development of agriculture, which are aimed at solving the urgent tasks of technological renewal and development of the agro-industrial complex on the basis of the development of bio-organic models of varietal technology cultivation of leguminous crops with orientation to the level of adequate productivity of arable land and climatic changes. Along with this, it is highlighted that in the countries of sustainable agriculture, in particular the EU, considerable attention is paid to greening and reducing the negative impact of intensive soybean cultivation technologies on the environment.*

*The relevance of the article is strengthened by the tasks of the 1st stage of applied research on the topic «Development of scientific and technological support for increasing soil fertility and rational use*

<sup>1</sup> Doctor of Agricultural Sciences, Professor,  
Leading Researcher  
(Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia)  
e-mail: didurihor@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-6612-6592

<sup>2</sup> Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Leading Researcher  
(Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia)  
e-mail: apantsyreva@ukr.net  
ORCID: 0000-0002-0539-5211

<sup>3</sup> Master's Student at the Educational-Scientific Institute of Agrotechnology and Nature Management  
(Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia)  
e-mail: agolova2024@gmail.com  
ORCID: 0009-0001-5130-8596

<sup>4</sup> 1st-year Postgraduate Student  
(Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia)  
e-mail: vk140550@gmail.com  
ORCID: 0009-00071-4825-3019

of the potential of biological resources» (0124U000444), which is carried out at the expense of the state budget fund (2024–2026).

**Key words:** soybean, variety, climate change, soil conservation, biological preparations, productivity.

## ДОСЛІДЖЕННЯ СОРТОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СОЇ В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ

**І. М. Дідур, Г. В. Панцирева, А. Б. Голованюк, В. М. Ковальчук**

Дослідження присвячено вивченню територіальної трансформації «соевого поясу» в Україні та світі в умовах змін клімату на засадах ґрунтозбереження. Деталізовано передумови для становлення нового етапу у виробництві насіння сої, що сприятимуть раціональному використанню гідротермічних ресурсів регіону, збільшенню обсягів виробництва, біологізації землеробства, одержанню високоякісної, органічної продукції. З'ясовано, що органічне виробництво насіння сої є одним із стратегічних напрямків прискореного розвитку агропромислового комплексу України та головною ціллю Європейського Зеленого Курсу, що регламентує перетворення Європи на кліматично нейтральний континент. Проведено дослідження, яке присвячене питанням досягнення Україною цілей Сталого розвитку: Ціль 2. Подолання голоду, досягнення продовольчої безпеки, поліпшення харчування і сприяння сталому розвитку сільського господарства, які спрямовані на вирішення актуальних завдань технологічного оновлення та розвитку агропромислового комплексу на основі розробки біоорганічних моделей сортової технології вирощування зернобобових культур із орієнтуванням на рівні адекватної продуктивності ріллі та кліматичних змін. Поряд із цим зазначено, що в країнах сталого сільського господарства, зокрема ЄС, значна увага приділяється екологізації та зменшенню негативного впливу інтенсивних технологій вирощування сої на довкілля завдяки використанню біологічних препаратів. Актуальність статті підсилюється завданнями першого етапу прикладного дослідження на тему «Розробка науково-технологічного забезпечення підвищення родючості ґрунтів та раціонального використання потенціалу біоресурсів» (0124U000444), що виконується за рахунок видатків фонду державного бюджету (2024–2026 рр.).

**Ключові слова:** соя, сорт, зміна клімату, ґрунтозбереження, біологічні препарати, урожайність.

### Introduction

Due to climatic changes, today's natural and climatic conditions make it possible to grow soybeans almost throughout the territory of Ukraine. Improvements in the technological methods of cultivation with a scientifically based selection of the assortment led to an increase in the yield level during 2013–2023 by an average of 1.9 t/ha. Therefore, the selection of adapted varieties is the best agrotechnological technique for agricultural practice with a simultaneous reduction of the impact on the environment due to limiting factors, and ultimately on the yield level of leguminous crops. The selection of the variety is able to provide plastic adaptation properties to the edapho-climatic conditions of cultivation in order to obtain high and stable yields under modern climatic changes. This question has become especially acute in connection with the trends of climate neutrality, among scientists and practitioners there is a task related to the development of technological aspects of cultivation, which will ultimately ensure an increase in the level of the harvest by ensuring the appropriate quality indicators. Extremely important elements in increasing

the yield level while simultaneously improving the qualitative indicators of soybean seed production are the use of scientifically based plant nutrition systems, the introduction of the latest effective growth regulators. the relevance of the scientific article is strengthened.

Soybeans are classified as one of the most important food, fodder, and technical crops of world crop production, capable of providing complete vegetable protein to the needs of the country's population and the livestock industry (Mazur et al., 2018). The high universality of the use of the culture, the production of which has great agrotechnical, food and fodder importance, sets before the cooperating global agrarians, including Ukraine, the task of finding ways to increase the volume and efficiency of its production, improve the quality and preserve the fertility of the soil (Kots et al., 2021). At the same time, in modern economic conditions, despite the fact that more attention has been paid to the development of domestic soybean seed production and positive changes have been outlined not only in the production, but also in the consumption of soybeans, there is a shortage of soybean seeds on the Ukrainian

market, as a result of the war on the territory countries (Didur et al., 2020).

Therefore, in conditions of insufficient economic support from the state, ensuring the parity of soybean prices compared to other crops reduces its competitiveness and attractiveness for farmers. In addition, the possibilities of expanding soybean crops, introducing scientifically based varietal zoning adapted to the conditions of specific regions, including in the south of the country, are not fully realized (Mazur et al., 2021 a).

The rapid growth of soybean production in the world and in Ukraine is due to the fact that the culture is a source of vegetable protein, much cheaper than animal protein, greater demand in the countries of its historical consumption, high profitability and demand by various industries. Soybean cultivation in the conditions of the forest-steppe of Ukraine is becoming more and more relevant and requires development with the simultaneous improvement of varietal technological aspects of cultivation, with the use of adaptation-plastic varieties to environmental conditions, research on the optimal terms of sowing seeds, the density and field germination of crops, bacteriization of seeds, sowing rates and power elements. Therefore, in order to obtain a high yield, it is necessary to set aside the best fertile fields and predecessors for soybeans, sow high-yielding varieties, and master adaptive varietal growing technology. In the future, soybeans, as a strategic crop for Ukrainian agriculture, can be sown on a fairly large area of the soybean belt, which includes the Forest-Steppe, northern, central, and southwestern Steppes, the Forest-Steppe regions of Polissia, and the irrigated lands of the southern steppe, where its area can be increased to 4 million ha, production – up to 10 million tons and receipt of more than 450–600 thousand tons of biological nitrogen. This will provide the economy with about 150 billion hryvnias.

According to analytical and statistical data, it was found out (Mazur et al., 2021 b), that soybean occupies the majority of the total volume of production of oil crops (more than 60%). Also, the need and importance of soybean production is caused by the large-scale development of poultry farming in the territory of the Vinnytsia region. Therefore, against the background of a significant increase in the price of mineral fertilizers recently, with rational use, organic fertilizers,

bacterial preparations and microfertilizers can become an effective alternative.

### **Material and methods**

The relevance of the article is strengthened by the tasks of the 1st stage of the applied research on the topic “Development of scientific and technological support for increasing soil fertility and rational use of the potential of biological resources” (0124U000444), which will be carried out at the expense of the state budget fund (2024–2026).

The purpose of the work is to study the technological methods of growing soybeans as a factor in increasing soil fertility under climatic changes.

### **Results**

Despite the fact that almost 78% of the Earth’s atmosphere consists of nitrogen, it is unavailable to most plants (Tsyhanskyi, 2020). According to the analysis of literary sources (Pantsyryeva et al., 2024) it was established that the air above one hectare of the field surface contains 80 thousand tons of nitrogen. However, it becomes available to plants only through symbiotic nitrogen fixation, which is carried out by nodule bacteria that are in a close symbiotic relationship with leguminous plants, in particular soybeans (Vyshnivskyi et al., 2020). Therefore, after sowing the inoculated seeds, nodule bacteria (*Rhizobia*) germinate in the form of thin hairs and infect the young roots of the plant. After penetrating the root hair, the bacteria cause intensive division of the root cells, as a result of which a nodule appears. The bacteria themselves develop in these nodules on the roots, taking part in nitrogen assimilation.

In the process of growth and development, soybean plants are exposed to various stress factors that can affect their seed productivity. Factors can exert stressful effects on plants and be implemented in a wide variety of manifestations: in the absence and excess of abiotic components humidity, air temperature, solar radioactive radiation, acidity of the environment, herbicide background, wind erosion, atmospheric pressure, degree of damage. Today, the most important direction in agricultural science and production is the study of the state of crops, which must be protected from the listed factorial influences in order to supplement the selection work on the breeding of adaptive plant varieties, where the key importance is assigned to biological preparations that form the adaptive properties of the plant, Chinchyk O., Patyka V., Mazur V., Tkachuk O., Didur I., Pantsyryeva H., Bakhmat O.



Among Ukrainian scientists, issues related to technological renewal through the use of high-yielding varieties have been successfully implemented in cultivation technologies. Therefore, under a climate-neutral reference point, among scientists, the task of approbation of modern technological methods of cultivation, which can lead to the collection of maximum indicators of the level of productivity with simultaneous improvement of the quality of seed products in the specific natural and climatic conditions of Ukraine, is singled out. At the same time, an important component of increasing the yield and improving the quality of soybean seed production is the use of optimal component systems of mineral and biological nutrition, with the introduction of the latest bacterial preparations based on highly effective strains of nodule bacteria in simultaneous interaction with plant growth regulation. The latest experimental research on this issue is covered in the works of I. Didur, H. Pantsyрева et al. It has been established that the use of mineral fertilizers, growth regulators and seed sterilization improves the growth processes of plant groups with simultaneous stimulation of photosynthetic processes in order to improve resistance to uncontrollable factors, weather and climate conditions, harmful objects while increasing the level of seed production.

In agriculture, work is being carried out on a large scale regarding the use of various methods of accelerating the process of plant

development, increasing yield and product quality. Biologization of production is of great importance in modern technologies.

The use of biological drugs is considered a sign of a highly developed economy of the state. The volume of production of fertilizing, protective and re-regulating biological preparations depends on this. Therefore, the production per unit area of biological preparations (Fig. 1) in Australia is about 6 million hectares, in the following countries: Canada up to 4,000,000, India – 3,000,000, Great Britain – almost 500,000, Yugoslavia – up to 500,000, Romania – about 500,000, the Republic of Poland – 500,000 each, Hungary – up to 200,000. In the conditions of Ukraine, the production of biological preparations per unit area is about 200,000 hectares (Zabolotnyi et al., 2020).

Bacterial preparations based on strains of nodule bacteria that are capable of fixing molecular nitrogen from atmospheric air, providing the biosphere with bound forms of nitrogen. Therefore, the only possible way of additional accumulation of nitrogen is its transformation into humus, which is a specific substance of the soil (Parizad et al., 2020). The nodule bacteria of grain leguminous plants were the first to be used for the production of biofertilizers, as they are visually detectable and provide increased indicators of the level of nitrogen accumulation (Bakhmat et. al., 2023).

So, capable of accumulating from 70 to 280 kg/ha – in soybean crops, from 200 to 350 kg/ha in alfalfa crops in the second

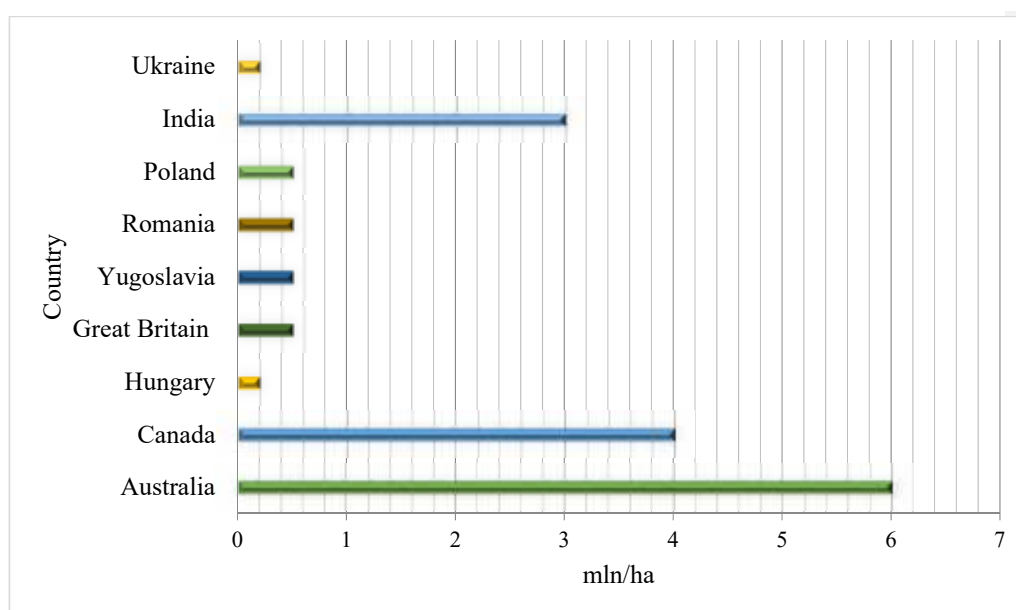


Fig. 1. World production of biological preparations per unit area, million ha

year of cultivation, and somewhat lower values were recorded in pea crops (from 40 to 70 kg/ha) (table 1).

In America, about 30% of the production need of agricultural practice in nitrogen is covered by mineral nutrition of plants, by 25% – by organic nutrition, and by 45% – by biological nitrogen nutrition. Therefore, in the USA, almost 1,000,000 hectares of leguminous crops are planted every year – biological preparations for soybeans (Optimize, Graphex), in North America – Tsnitragin and Paradr, in the republics of Uruguay and Argentina – Nitrosol and Nitrum, in Oceania (New Zealand and Australia) – Rhizocoat, Tropical Inoculant, Nodulaite, Nitrogerm, India – Ariss Agro, Egypt – Okadin, Poland, Germany, Hungary – Rhizonite-Thorore (Petrychenko, 2012; Honcharuk et. al., 2022). In Ukraine, more than 150,000 hectares of arable land are used for the production of biological preparations for soybeans with the following biological preparations: Risoline, Rhyzohumin, Biomag soy.

It has been established that soybean plants are a valuable source of balanced amino acid composition, as well as protein and fat content. However, the most important biological feature from an agronomic point of view is the biological fixation of nitrogen from the atmosphere. In the world, the share of biologically fixed nitrogen resources among leguminous crops in accordance with soybeans is almost 17.0 million tons or more than 70%, while in the USA plants biologically fix 5.4 million tons of nitrogen per unit area (Table 2).

Today, environmentally safe fertilizers characterized by a complex effect are bacterial preparations, thanks to the microorganisms on the basis of which they are created. Therefore, they are capable of fixing atmospheric nitrogen through the prism of transformation of phosphates in the soil. The ability to produce amino acids, which are growth activators and substances of abiotic origin (unnatural), is also recorded, which ultimately leads to the development of harmful objects. Biological preparations, nitrogen fixers, made on the basis of nitrogen-fixing bacteria, have a multifunctional effect on the growth, development of soybean plants and the formation of seed productivity (Myalkovsky et. al., 2023).

According to the processed data, it was established that the structure of the world production of oil crops, under soybeans is assigned to 60% of the cultivated areas. Therefore, over the course of fifty years, soybean crops grew from 24 million ha to 103 million ha with a yield level of 1.70–2.60 t/ha. It is known that soybean leaves 80–120 kg of nitrogen per hectare, equivalent to the application of up to 15 tons of organic fertilizers. In Ukraine, the cultivated area occupied by soybeans is 2.2 million ha, while the soil will receive the amount of nitrogen equivalent to 546 thousand tons of ammonium nitrate worth more than UAH 1 billion (Fig. 2).

In today's conditions, the world society is concentrated in three regions: in South America – these are countries such as Brazil, Argentina, Paraguay; in North America – the USA and Canada; Asia is China and India.

Table 1

The level of nitrogen accumulation in the soil due to nodule bacteria, kg/ha

<b>Culture</b>	<b>Accumulation, kg/ha</b>	<b>Remaining nitrogen in the soil, kg/ha</b>	<b>The equivalent dose of mineral fertilizers, kg/ha</b>
Soybeans	70–280	30–60	70–100
Peas	40–70	10–20	25–30
Alfalfa	200–350	10–20	25–35
Chickpeas	70–150	20–30	35–70
White lupine	80–270	30–50	60–90

Table 2

The share of arable land and the yield of soybeans by countries of the world

<b>Country</b>	<b>Share of soybeans to arable land, %</b>	<b>Yield level, t/ha</b>
Ukraine	3,51	1,78
USA	19,22	2,88
Canada	1,73	2,89
Australia	16,74	2,58
India	15,65	2,46

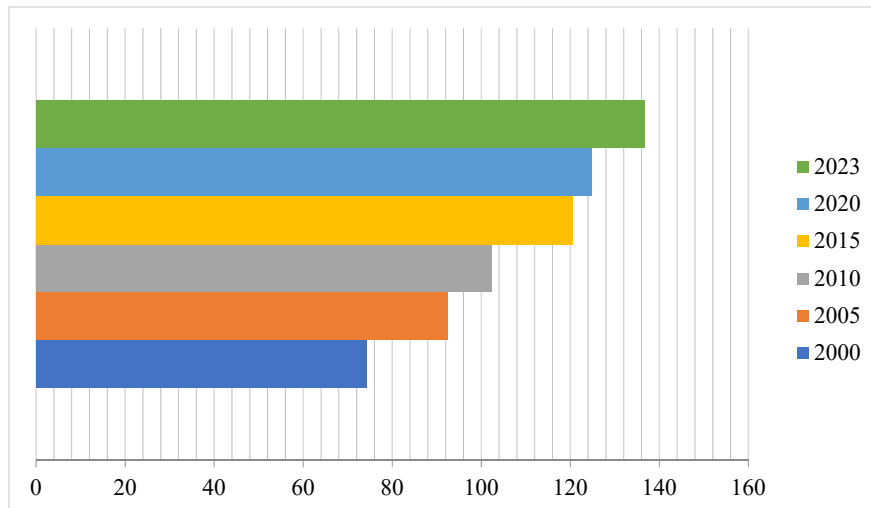


Fig. 2. World soybean seed production per unit area by year, million hectares (average for 2000–2023)

The leading countries in the production of soybean seed products can be clearly divided into 2 groups. The grouping is based on positions due to high yield and large areas of crops. Therefore, the highest levels of productivity in Brazil is 3.38 t/ha, in the USA, this average indicator of the level of productivity is 3.29 t/ha, in Argentina – 3.17 t/ha, in Paraguay – 3.10 t/ha, in Canada – 2.93 t/ha. With large planted areas and low yield of soybeans in Bolivia, the average yield level is 2.39 t/ha, and in China the average yield level reaches 1.79 t/ha, in India – 1.03 t/ha. In Ukraine, the average level of yield is 1.96 t/ha (Zhou et al., 2018).

The total rate of sowing in the world as of 2023 is 352.6 million tons. Traditionally, the global world leaders in the production of soybean seeds are the USA, Brazil, and Argentina, which last year collected almost 300 million tons of seed products, which in terms of world production is 82%. In the world balance, Ukraine ranks 8th, collecting more than 4 million tons of soybean seeds with a production share of 1%. Today, the leading producers include China, which collects almost 13.0 million tons of soybean seeds, India – 11.5 million tons, Paraguay – 10.3 million tons (Zhou et al., 2020).

Soybean cultivation in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine is gaining more and more relevance and the need for science-intensive solutions for technological renewal through the improvement of varietal technological methods of cultivation with the use of adaptation-plastic varieties resistant to abiotic factors, the establishment of the

optimal and necessary periods of co-sowing, field germination and density of standing crops, seed sterilization, sowing rates and nutrients. Therefore, in order to obtain a high yield, it is necessary to set aside the best fertile fields and predecessors for soybeans, sow high-yielding varieties, and master adaptive varietal growing technology. In the future, soybeans, as a strategic crop for Ukrainian agriculture, can be sown on a fairly large area of the soybean belt, which includes the Forest-Steppe, northern, central, and southwestern steppes, the forest-steppe regions of Polissia, and the irrigated lands of the southern steppe, where its area can be increased to 4 million ha, production – up to 10 million tons and receipt of more than 450–600 thousand tons of biological nitrogen. This will provide the economy with about 150 billion hryvnias.

Therefore, due to climate changes and the creation over the last five years of the latest highly productive adaptive varieties at the Institute of Fodder of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine with other research institutes, it led to an increase in the soybean belt to the north of the Forest Steppe and to the south of the Polissia of Ukraine (Mazur et al., 2018).

Territorial transformation of the «soy belt» implements the newest period in the production of soybean seed products, which contributes to the rationalization of the hydrothermal resource of the regions of Ukraine in the conditions of climate change, the increase of the gross production of soybean seeds per unit area, the biologicization of agriculture, and the production of high-quality, environmentally safe seed products (Fig. 3).

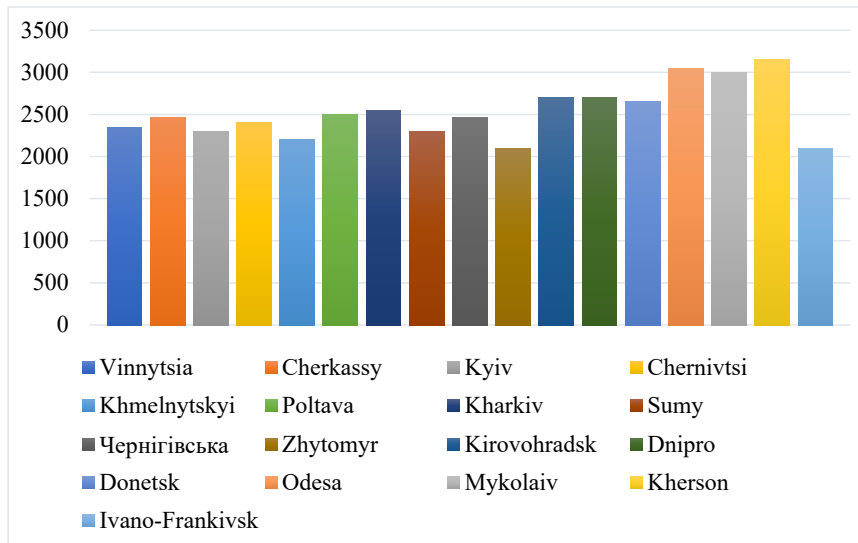


Fig. 3. The dynamics of the sum of the effective temperatures of the regions of Ukraine, °C

Soy, as the best predecessor in crop rotation for grain crops, in particular for corn, and short rotations for crop rotation soybean-corn will open real prospects for obtaining 80 million tons of seeds in Ukraine. Depending on the region, soybeans can occupy from 20 to 30% of arable land or more. Without soybeans, as a highly intensive leguminous crop and the best precursor, it is not promising to achieve the declared volumes of seed production. Together with soy, it is a strategic direction for the development of the agricultural sector, strengthening the economy and solving the food problem and increasing soil fertility.

### Conclusions

In the conditions of climate change, the territorial transformation of the «soybean belt» is a prerequisite for the establishment of a new stage in the production of soybean seeds, which will contribute to the rational use of hydrothermal resources of the region, the increase of production volumes, the

biologicalization of agriculture, and the production of high-quality, organic products. Organic production of soybean seeds is one of the strategic directions of the accelerated development of the agro-industrial complex of Ukraine and the main goal of the European Green Course, which regulates the transformation of Europe into a climate-neutral continent. Along with this, considerable attention in the countries of sustainable agriculture, in particular the EU, is paid to greening and reducing the negative impact of intensive soybean cultivation technologies on the environment. This is achieved, first of all, by reducing the use of pesticides and mineral fertilizers, finding ways to expand biological measures, inoculation, reducing the intensity of soil cultivation in accordance with the transition to eco-conserving technologies based on the selection of varieties that differ by maturity group in accordance with the amount effective temperatures.

### Bibliography

- Bakhmat M., Padalko T., Krachan T., Tkach O., Pansyryeva H., Tkach L. Formation of the Yield of *Matricaria recutita* and Indicators of Food Value of *Sychorium intybus* by Technological Methods of Co-Cultivation in the Interrows of an Orchard. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24. № 8. P. 250–259. <https://doi.org/10.12911/22998993/166553>.
- Didur I., Bakhmat M., Chynchyk O., Pansyryeva H., Telekalo N., Tkachuk O. Substantiation of agroecological factors on soybean agrophytocenoses by analysis of variance of the Right-Bank Forest-Steppe in Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 10. № 5. P. 54–61. [https://doi.org/10.15421/2020\\_206](https://doi.org/10.15421/2020_206).
- Honcharuk I., Matusyak M., Pansyryeva H., Kupchuk I., Prokopchuk V., Telekalo N. Peculiarities of reproduction of *pinus Nigra* arn. in Ukraine. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov. Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*. 2022. Vol. 15 (64). № 1. P. 33–42. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2022.15.64.1.3>.

Kots S.Ya., Kyrychenko 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. № 34. P. 29–43. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.34.29-43>.

Mazur V., Didur I., Tkachuk O., Pansyryeva H., Ovcharuk V. Agroecological stability of cultivars of sparsely distributed legumes in the context of climate change. *Scientific Horizons*. 2021. Vol. 24. № 1. P. 54–60. [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(1\).2021.54-60](https://doi.org/10.48077/scihor.24(1).2021.54-60).

Mazur V., Tkachuk O., Pansyryeva H., Demchuk O. Quality of pea seeds and agroecological condition of soil when using structured water. *Scientific Horizons*. 2021. Vol. 24. № 7. P. 53–60. [https://doi.org/10.0.187.205/scihor.24\(7\).2021.53-60](https://doi.org/10.0.187.205/scihor.24(7).2021.53-60).

Mazur V.A., Mazur K.V., Pansyryeva H.V., Alekseev O.O. Ecological and economic evaluation of varietal resources *Lupinus albus* L. in Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. 8 (4). 148–153.

Myalkovsky R., Pansyryeva H. The use of digestate for the development of organic agricultural production. *Agro-ecological potential of soil cover of Vinnytsia region: scientific monograph*. Riga, Latvia: Publishing House «Baltija Publishing», 2023. P. 72–90. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-290-6-4>.

Pansyryeva H., Vovk V., Bronnicova L., Zabarna T. Efficiency of the Use of Lawn Grasses for Biology and Soil Conservation of Agricultural Systems under the Conditions of the Ukraine's Podillia. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24. № 11. P. 249–256. <https://doi.org/10.12911/22998993/171649>.

Parizad S., Bera S. The effect of organic farming on water reusability, sustainable ecosystem, and food toxicity. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15258-7>.

Petrychenko V.F. Agricultural microbiology and balanced development of agroecosystems. *Herald of Agrarian Science*. 2012. № 8. P. 5–11.

Tsyhanskyi V.I. Optimization of the soybean fertilization system based on the use of preparations of biological origin in the conditions of the Forest-Steppe of the Right Bank. *Agriculture and Forestry*, 2021. № 2 (21). P. 69–80. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-2-6>.

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. № 258. 126679.

Zhou C.Y., Zhao S.S., Yang X., Liu Z. Improvement of eco-ester materials on sandy soils and engineering slope protection. *Rock Soil Mech*. 2019. № 40. P. 4828–4837.

Вишнівський П.С., Фурман О.В. Продуктивність сої залежно від елементів технології вирощування в умовах правобережного Лісостепу України. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2020. Вип. 11(1). С 13–22. <http://dx.doi.org/10.31548/agr2020.01.013>.

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.

## References

Bakhmat, M., Padalko, T., Krachan, T., Tkach, O., Pansyryeva, H., & Tkach, L. (2023). Formation of the Yield of *Matricaria recutita* and Indicators of Food Value of *Synchronium intybus* by Technological Methods of Co-Cultivation in the Interrows of an Orchard. *Journal of Ecological Engineering*. Vol. 24, № 8, 250–259. <https://doi.org/10.12911/22998993/166553> [in English].

Didur, I., Bakhmat, M., Chynchyk, O., Pansyryeva, H., Telekalo, N., & Tkachuk, O. (2020). Substantiation of agroecological factors on soybean agrophytocenoses by analysis of variance of the Right-Bank Forest-Steppe in Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. Vol. 10, № 5, P. 54–61. [https://doi.org/10.15421/2020\\_206](https://doi.org/10.15421/2020_206) [in English].

Honcharuk, I., Matusyak, M., Pansyryeva, H., Kupchuk, I., Prokopchuk, V., & Telekalo, N. (2022). Peculiarities of reproduction of *pinus nigra* arn. in Ukraine. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov. Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*. Vol. 15 (64), № 1, 33–42. <https://doi.org/10.31926/but.fwi.2022.15.64.1.3> [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].

- Mazur, V.A., Mazur, K.V., Pansyryeva, H.V., & Alekseev O.O. (2018). Ecological and economic evaluation of varietal resources *Lupinus albus* L. in Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(4), 148–153 [in English].
- Mazur, V., Didur, I., Tkachuk, O., Pansyryeva, H., & Ovcharuk, V. (2021 b). Agroecological stability of cultivars of sparsely distributed legumes in the context of climate change. *Scientific Horizons*. Vol. 24, № 1, 54–60. [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(1\).2021.54-60](https://doi.org/10.48077/scihor.24(1).2021.54-60) [in English].
- Mazur, V., Tkachuk, O., Pansyryeva, H., & Demchuk, O. (2021 a). Quality of pea seeds and agroecological condition of soil when using structured water. *Scientific Horizons*. Vol. 24, № 7, 53–60. [https://doi.org/10.0.187.205/scihor.24\(7\).2021.53-60](https://doi.org/10.0.187.205/scihor.24(7).2021.53-60) [in English].
- Myalkovsky R., & Pansyryeva H. (2023). The use of digestate for the development of organic agricultural production. *Agro-ecological potential of soil cover of Vinnytsia region: scientific monograph*. Riga, Latvia: Publishing House «Baltija Publishing», P. 72–90. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-290-6-4> [in English].
- Pansyryeva, H., Vovk, V., Bronnicova, L., & Zabarna, T. (2023). Efficiency of the Use of Lawn Grasses for Biology and Soil Conservation of Agricultural Systems under the Conditions of the Ukraine's Podillia. *Journal of Ecological Engineering*. Vol. 24, № 11, 249–256. <https://doi.org/10.12911/22998993/171649> [in English].
- Parizad, S., & Bera, S. (2021). The effect of organic farming on water reusability, sustainable ecosystem, and food toxicity. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15258-7> [in English].
- Petrychenko, V.F. (2012). Agricultural microbiology and balanced development of agroecosystems. *Herald of Agrarian Science*. 8, 5–11 [in English].
- Tsyhanskyi, V.I. (2021). Optimization of the soybean fertilization system based on the use of preparations of biological origin in the conditions of the Forest-Steppe of the Right Bank. *Agriculture and Forestry*, 2 (21), 69–80. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-2-6> [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 [in English].
- Zhou, C.Y., Zhao, S.S., Yang, X., & Liu, Z. (2019). Improvement of eco-ester materials on sandy soils and engineering slope protection. *Rock Soil Mech.* 40, 4828–4837 [in English].
- Vyshnivskiy, P.S., & Furman, O.V. (2020). Produktivnist soi zalezho vid elementiv tekhnologii vyroshchuvannya v umovakh pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Productivity of soybeans depending on the elements of cultivation technology in the conditions of the RightBank Forest-Steppe of Ukraine]. *Roslynnystvo ta gruntoznavstvo [Horticulture and Soil Science]*, 11 (1), 13–22. <https://doi.org/10.31548/agr2020.01.013> [in Ukrainian].
- Zabolotnyi, H.M., Mazur, V.A., Tsyhanska, O.I., Didur, I.M., Tsyhanskyi, V.I., & Pansyryeva, H.V. (2021). Ahrobiolohichni osnovy vyroshchuvannya soi ta shliakhy maksimalnoi realizatsii yii produktyvnosti [Agrobiological bases of soybean cultivation and ways of maximum realization of its productivity]. Vinnytsia : TOV «TVORY». 276 p. [in Ukrainian].

Отримано: 25.07.2024

Прийнято: 12.08.2024



UDC 635.64.044:631.527.5:631.544.4»324»(292.486:477):338.31  
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.16>

**ECONOMIC EFFICIENCY OF CULTIVATION OF INDETERMINANT HYBRIDS  
OF CHERRY TOMATOES IN WINTER GREENHOUSES  
OF THE STEPPE AREA OF UKRAINE**

**V. L. Karachun<sup>1</sup>, I. V. Lebedynskyi<sup>2</sup>**

*The article examines the economic efficiency of growing indeterminate hybrids of cherry tomatoes in winter greenhouses in the modern greenhouse complex of Dniprovskiyi LLC. Experimental studies were conducted over three years (2021–2023). The research was carried out using indeterminate tomato hybrids: Juanita F<sub>1</sub> (control), DRC-564 F<sub>1</sub>, DRC-2050 F<sub>1</sub>, DRC-2055 F<sub>1</sub>. The study determines the economic efficiency of growing, phenological observations, the dynamics of yield formation, and the marketability of hybrid fruits. Additionally, the effect of the hybrid on the main biochemical parameters of the fruits is presented, as well as the adaptation of hybrids to growing conditions in winter greenhouses.*

*The studies have shown a yield increase of 1.4 kg/m<sup>2</sup> to 1.9 kg/m<sup>2</sup>, or a yield increase of 6.6% to 9.0%, on DRC-564 F<sub>1</sub>, DRC-2050 F<sub>1</sub>, and DRC-2055 F<sub>1</sub> compared to the control, Juanita F<sub>1</sub>. By introducing these new cherry hybrids into crop rotation, it is possible to achieve a net profit increase per hectare of 3.3 million hryvnias for DRC-564, 2.5 million hryvnias for DRC-2055, and 2.3 million hryvnias for DRC-2050. The profitability of growing cherry tomatoes in winter greenhouses can reach 38.4% to 44.5%.*

*The obtained results provide valuable information for greenhouse plant growers regarding the selection of the most productive, economically beneficial, and adapted tomato hybrids for growing in winter greenhouses. This contributes to increased yield and economic efficiency.*

**Key words:** indeterminate, economic efficiency, cost price, winter greenhouses, net profit, technology, productivity, profitability.

<sup>1</sup> Postgraduate student at the Department of Horticulture and Storage of Crop Products  
(State Biotechnological University, Kharkiv)  
e-mail: karachunvital@gmail.com  
ORCID: 0009-0006-8525-2080

<sup>2</sup> Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Department of Horticulture and Storage of Crop Products  
(State Biotechnological University, Kharkiv)  
e-mail: ivanleb1953@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-9245-5437

## ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ ІНДЕТЕРМІНАНТНИХ ГІБРИДІВ ПОМІДОРА ГРУПИ ЧЕРІ У ЗИМОВИХ ТЕПЛИЦЯХ СТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ

В. А. Карачун, І. В. Лебединський

*У статті розглянуто економічну ефективність вирощування індетермінантних гібридів помідора групи чері, вирощених у зимових теплицях в сучасному тепличному комплексі ТОВ ТК «Дніпровський». Експериментальні дослідження проводили протягом трьох років (2021–2023 рр.).*

*Дослідження виконували з індетермінантними гібридами помідора: Хуаніта F<sub>1</sub> (контроль), DRC-564 F<sub>1</sub>, DRC-2050 F<sub>1</sub>, DRC-2055 F<sub>1</sub>. Дослідження визначає економічну ефективність вирощування, фенологічні спостереження, динаміку формування врожайності та товарність плодів гібридів. Одночасно представлений вплив гібрида на основні біохімічні показники плодів, а також пристосування гібридів до умов вирощування в зимових теплицях.*

*Дослідження показали приріст урожайності на DRC-564 F<sub>1</sub>, DRC-2050 F<sub>1</sub>, DRC-2055 F<sub>1</sub> порівняно з контролем Хуаніта F<sub>1</sub> від 1,4 кг/м<sup>2</sup> до 1,9 кг/м<sup>2</sup>, або приріст врожайності на рівні 6,6–9,0%. При впровадженні в культурозміну нових гібридів чері можна отримати приріст чистого прибутку з гектару на гібридах DRC-564 3,3 млн. грн. га, DRC-2055 2,5 млн. грн. га, DRC-2050 2,3 млн. грн. га. Рівень рентабельності вирощування помідора групи чері в зимових теплицях можна отримати на рівні від 38,4% до 44,5%.*

*Отримані результати надають цінну інформацію для тепличних комбінатів щодо вибору найбільш продуктивних економічно вигідних та пристосованих гібридів помідора для вирощування в зимових теплицях, сприяючи підвищенню врожайності та економічної ефективності.*

**Ключові слова:** індетермінантний, економічна ефективність, собівартість, зимові теплиці, чистий прибуток, технологія, урожайність, рентабельність.

### Introduction

The main task of the indoor vegetable growing industry at the current stage is to provide the population of Ukraine with a variety of vegetable products all year round and make it possible to obtain the largest harvest from a unit of area (Cherneshenko et al., 2018).

Tomatoes have a rich history and are common in many countries. Tomato fruits are the most valuable for humans among all types of vegetables (Yarovyi & Romanov, 2017). Their exclusive benefit lies in the fact that they contain various proteins, sugars, organic acids, vitamins, and minerals necessary for better metabolism, contribute to increasing appetite, and maintaining human performance. The wide range of tomato distribution is explained by its high taste and nutritional qualities (Chernyshenko et al., 2017).

The largest tomato producers in the world are China, Mexico, Italy, Spain, and the USA. According to FAO (in 2019), tomatoes ranked first in the world among fruit and vegetable plants (4 million hectares), including in protected soil (60% of the entire area). In 2019, the largest number of tomatoes was grown in China – more than 1 million hectares (67.76 million tons), in India – 520 thousand hectares (19 million tons), Turkey – 225 thousand hectares (12.84 million tons), Egypt – 200 thousand hectares (6.75 million

tons), the USA – 200 thousand hectares (10.86 million tons), Italy – 5.25 million tons, Iran – 5.24 million tons. In 2019, 158.4 million tons of tomatoes were produced in the world. It is noted that the production of tomato fruits increases by 3% every year (Лебединський і Карачун, 2022).

The volume of tomato trade in EU countries (fresh and frozen fruits) is 2 billion euros. According to world international statistics, there are more than 140 categories of vegetable plants on the market, and tomato fruits are the most sold. In this volume, the lion's share falls on tomato fruits – more than 50% in fresh form and about 50% in processed form. In terms of world production, tomato fruits in the Netherlands make up 1%, in Spain – 4%, in Italy and Egypt – 6%, in Turkey – 8%, in the USA and China – 15% (Жук та ін., 2014).

About 2.44 million tons of tomato fruits were grown in Ukraine in 2022, with 0.23 million tons directly in closed soil structures. In Ukraine, tomatoes are grown on a total area of 75.8 thousand hectares, of which about 3 thousand hectares are in closed soil structures. The area of industrial glass greenhouses in Ukraine, which work according to modern technologies, is 300 hectares, of which 170 hectares are used for professional tomato cultivation in winter greenhouses (Лебединський і Карачун, 2022).



Having familiarized myself with the literary sources, it became known that growing tomatoes in winter greenhouses is a fairly profitable area of agribusiness, as it provides the maximum income from the area under the conditions of compliance with the technology of intensive cultivation and favorable market conditions.

The cost structure for growing tomatoes for eleven months with fruiting in nine months in modern winter greenhouses is about 75.2–85.3% of direct material costs, namely: 30.1–35.1% for energy (natural gas, coal, biofuel, wood chips, electricity); 30.4–35.7% for labor costs and taxes (18.0% personal income tax, 22.0% single social contribution); raw materials and materials for cultivation occupy 13.1–16.2% of the cost price (mineral fertilizers 5.1–7.2%, substrates 3.1–4.2%, seeds 2.1–4.1%, plant protection means 0.9–1.9%, agrotechnical materials 0.3–0.5%, pollination materials 0.3–0.5%). Additional material costs for production are divided into: pre-sale preparation costs 5.0–9.4% (packaging, sorting, transportation, marketing), fixed costs 1.1–3.8% (fuel and lubricants, repairs), other expenses 5.1–7.2% (depreciation, rent, etc.) (Карачун, 2024 а).

The use of different technologies in the cultivation of tomatoes leads to a difference in cost, level of profitability, production costs and, ultimately, productivity per unit area. The introduction of new elements into the technology of growing tomatoes in winter greenhouses helps to increase the efficiency of production and ensures the ecological safety of vegetable products, which is possible only in a modern greenhouse complex for small-scale hydroponics (Кисляченко, 2013).

Cherry tomatoes imported from the EU, Egypt, Turkey, and other countries are mainly sold in the Ukrainian market and supermarkets. The upward trend in the price of finished cherry tomato products has remained fairly stable over recent years, which is positive for the market and the producers' economy. Currently, producers still grow many large-fruited tomatoes, but this direction is oversaturated, so the popularity of cherry tomatoes is growing rapidly in the Ukrainian market. Demand is high and a lot of effort is being directed to further increase production. For example, in modern greenhouse plants, various hybrids of cherry tomatoes are constantly being studied for further introduction into production (Карачун, 2024 б).

## Material and methods

The purpose of the experiment is to determine the economic efficiency of growing indeterminate hybrids of the cherry tomato group in winter greenhouses.

Taking into account the constant increase in the assortment of tomatoes available in Ukraine, certain aspects of substantiating the characteristics of cherry tomato hybrids and the economic aspects of growing cherry tomatoes remain insufficiently studied and are quite relevant at the current stage.

The research was conducted in modern block hydroponic winter greenhouses of the «Venlo» type at the modern enterprise of Dniprovskiy TC LLC, which is located in the Dnipro district, Dnipropetrovsk region. All processes in the greenhouses were automated, with computer regulation of the microclimate and the use of drip irrigation during 2021–2023. Indeterminate hybrids of the cherry group from the Dutch manufacturer, Monsanto, with similar biological characteristics and qualitative indicators, such as: early maturity (beginning of fruiting in 95–100 days), fruit weight (20–35 grams), high marketability, recommended planting density, were selected for the study. 18–25 thousand plants per hectare, the plant develops in a balance between vegetative and generative types of development. The following hybrids were studied: Juanita (control), DRC-564, DRC-2050, DRC-2055.

The placement scheme of the experiment options is systematically regular in four repetitions. The area of the accounting plot is 10 m<sup>2</sup>, the total area of the plot is 14 m<sup>2</sup>, the total area of the experiment is 224 m<sup>2</sup>. Seedlings were grown according to the classical scheme in 35 days and planted in a permanent place in the phase of 9–11 true leaves. Scheme of placement of plants, four plants per mineral wool substrate «Hrodan Master» (100 x 20 x 7.5 cm), the volume of the substrate under one plant is 3.75 liters. The density of plants is 25 thousand per hectare, with a further increase in density to 31 thousand stems per hectare, and a final increase to 37 thousand stems per hectare. The number of plants in the accounting area is 25 pcs.

After the seedlings were planted in the greenhouse at a permanent place of cultivation, the care of the plants was carried out according to the technology of growing in the greenhouse. Tomato harvest was carried out in the months of fruiting (March, April, May, June, July, August, September, October,

November) three times a week according to DSTU 3246-95 «Fresh Tomato». Accounting and observation in the experiment were carried out according to generally accepted methods in accordance with the «Research case in agronomy» (2016) and according to the «Methodology of the research case in vegetable growing and melon growing» (2001). Economic efficiency was calculated based on the value of the harvest and additional costs for obtaining its increase from each option according to actual costs (Болотських і Довгаль, 1999).

### Results and discussion

During the phenological observations from 2021 to 2023, the following findings were made. The sowing of tomato hybrids in 2021–2023 took place in the second week of December, which is the optimal sowing period for winter greenhouses, considering the greenhouse's climatic zone. On the third day, all hybrids showed a single emergence of seedlings, and more than 75% of the seedlings had sprouted by the fifth day after sowing. This can be attributed to the optimal microclimate in the seed germination chamber, with a substrate temperature of 25°C and a relative humidity of 90%.

The appearance of the third leaf was observed earlier in the DRC-564 and DRC-2055 hybrids, on the tenth day after sowing, while in the DRC-2050 hybrid, it appeared on the twelfth day. In the Juanita hybrids (control group), the third leaf appeared on the eleventh day after sowing. All tomato hybrids were transplanted into mineral wool cubes for a period of 14 days after sowing.

The seedlings were arranged in the seedling block ten days after transplanting. The planting of seedlings in the greenhouse's permanent location was done on the 35th day after sowing. The seedlings were uniform in the Juanita (control) and DRC-564 hybrids, with a well-formed first panicle. In the DRC-2050 and DRC-2055 hybrids, the tassel moved away from the stem 39 days after emergence. The first fruits appeared on all hybrids 41–43 days after germination.

To increase the density of tomato plants to 3.1 plants per square meter (31,000 plants per hectare), an additional stem was planted in the first week of March, on average over three years. The density was further increased to 3.7 plants per square meter (37,000 plants per hectare) a month later, in the first week of April.

The harvesting of tomato fruits began earliest in the DRC-564 and DRC-2055 hybrids, at

the end of the second week of March, 94 days after germination. The Juanita (control) and DRC-2050 hybrids started bearing fruit at the beginning of the third week of March, 97 days after germination. All hybrids entered mass fruiting at the end of the third week of March.

The removal of tops and growth points in all hybrids was done simultaneously on September 15, 8 weeks (55 days) before the final fruit collection.

The death of plants in all hybrids was observed simultaneously on November 15.

In the 2021–2023 studies, tomato plants bore fruit on average for 227 to 230 days. Figure 1 illustrates the yield for each month of fruiting (March, April, May, June, July, August, September, October, November).

The highest rate of early harvest (on May 1) on average for 2021–2023 was characterized by hybrid DRC-564 – (3.16 kg/m<sup>2</sup>), which is 0.74 kg/m<sup>2</sup>, 30.71% more than the control. Hybrids DRC-2050 and DRC-2055 were almost at the same level in terms of early harvest. Accordingly, DRC-2050 F<sub>1</sub> provided a yield of 3.04 kg/m<sup>2</sup>, which is 0.62 kg/m<sup>2</sup>, 20.35% more than the control. DRC-2055 F<sub>1</sub> yielded 3.08 kg/m<sup>2</sup>, which is 0.66 kg/m<sup>2</sup>, 21.34% more than the control. The lowest rate of early harvest was in the Juanita F<sub>1</sub> control and averaged 2.42 kg/m<sup>2</sup> over three years (Table 1).

Juanita F<sub>1</sub> (control) provided an average total yield of 21.21 kg/m<sup>2</sup> for 2021–2023 (Table 2). The highest yield was obtained on the DRC-564 hybrid, it was 23.12 kg/m<sup>2</sup>, which is 9.0% or 1.91 kg/m<sup>2</sup> more than the control.

Hybrid DRC-2055 produced a yield of 22.65 kg/m<sup>2</sup>, which is 6.88% or 1.46 kg/m<sup>2</sup> more than the control. The DRC-2050 hybrid produced a yield of 22.65 kg/m<sup>2</sup>, which is 6.76% or 1.43 kg/m<sup>2</sup> more than the control. Having analyzed the yield of tomatoes for the three years 2021–2023, the following conclusions can be drawn that the yield of indeterminate cherry tomato hybrids was at the level of 21.21 kg/m<sup>2</sup> to 23.12 kg/m<sup>2</sup> (Table 2).

The highest marketability was shown by the DRC-564 hybrid, which was equal to 97.09%, which is 1.49% more than the control. Juanita F<sub>1</sub> (control) showed the lowest marketability within 95.95% (Table 3).

Analyzing the marketability of tomato fruits of indeterminate hybrids of the cherry group for 2021–2023, we made the following conclusions that when growing new promising hybrids, an increase in marketability can be obtained at the level of 0.29% to 1.56%.

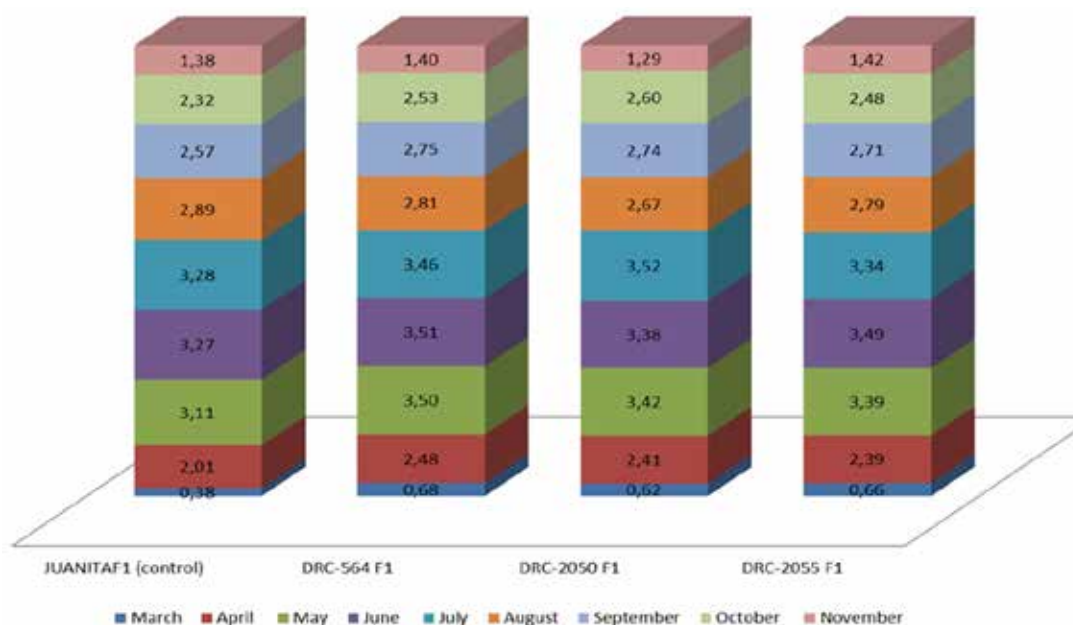


Fig. 1. Yield dynamics of cherry tomato hybrids per month, kg/m<sup>2</sup>

Table 1  
Formation of an early harvest (on May 1) of cherry tomato fruits 2021–2023

Hybrid	Yield, kg/m <sup>2</sup>				Increased yield	
	2021	2022	2023	average yield	kg/m <sup>2</sup>	%
Juanita (control)	2,64	2,37	2,25	2,42	0,00	0,0
DRC-564	3,17	3,21	3,10	3,16	0,74	30,71
DRC-2050	3,02	3,00	3,09	3,04	0,62	20,35
DRC-2055	3,19	2,84	3,19	3,08	0,66	21,34
NIR, 05 kg/m <sup>2</sup>	0,25	0,33	0,39			

Table 2  
The total yield of cherry tomato hybrids for 2021–2023

Hybrid	Yield, kg/m <sup>2</sup>				Increased yield	
	2021	2022	2023	average yield	kg/m <sup>2</sup>	%
Juanita (control)	21,35	21,06	21,23	21,21	-	-
DRC-564	23,11	22,58	23,67	23,12	1,91	9,00
DRC-2050	22,76	22,28	22,89	22,65	1,43	6,76
DRC-2055	22,60	22,39	23,03	22,67	1,46	6,88
NIR, 05 kg/m <sup>2</sup>	0,64	0,61	0,84			

Table 3  
Marketability of cherry tomato hybrids for 2021–2023

Hybrid	Marketability, %				Increase in marketability
	2021 p.	2022 p.	2023 p.	average marketability	%
Juanita (control)	94,75	95,11	96,91	95,59	0,00
DRC-564	96,42	97,55	97,28	97,09	1,49
DRC-2050	96,17	94,25	97,18	95,87	0,27
DRC-2055	95,65	96,25	97,04	96,31	0,72
NIR, 05%	0,35	0,44	0,51		

According to the results of the assessment of the economic efficiency of growing indeterminate hybrids of the cherry tomato group in winter greenhouses, it was established that the full cost of cultivation is quite high and was at the level of 1813.1 hryvnias/m<sup>2</sup> to 1824.1 hryvnias/m<sup>2</sup> (Table 4). The lowest total cost was in Juanita F1 (control) and amounted to UAH 1,813.1/m<sup>2</sup>. The highest cost price was UAH 1,824.1/m<sup>2</sup> in the DRC-564 hybrid, which is UAH 11.0/m<sup>2</sup> higher than the control. In DRC-2050 F1, the cost price was UAH 1,818.9/m<sup>2</sup>, which is UAH 5.8/m<sup>2</sup> higher than the control. Hybrid DRC-2055 had a cost price of UAH 1,821.7/m<sup>2</sup>, which is UAH 8.6/m<sup>2</sup> higher than the control.

The full cost of cultivation is divided into such basic costs as: basic costs of energy carriers, basic costs of wages, basic costs of raw materials and materials, costs of packaging, logistics, marketing, fixed costs, other costs (Fig. 2.) Basic costs of energy carriers (natural gas, biofuel, electricity), this indicator is UAH 561.1/m<sup>2</sup>, 30.7-30.1% of the total cost, is the same for all hybrids because the same microclimate was maintained in the winter greenhouse for all hybrids (Table 4). Basic labor costs were the lowest in the hybrid Juanita (control) and amounted to UAH 614.2/m<sup>2</sup>. Basic labor costs were the

highest in hybrid DRC-564 and amounted to 619.5 hryvnias/m<sup>2</sup>, which is 5.3 hryvnias/m<sup>2</sup> higher than the control.

Basic labor costs were the lowest in the hybrid Juanita (control) and amounted to UAH 614.2/m<sup>2</sup>. Basic labor costs were the highest in the DRC-564 hybrid and amounted to UAH 619.5/m<sup>2</sup>, which is UAH 5.3/m<sup>2</sup> higher than the control. In the DRC-2050 and DRC-2055 hybrids, the basic wage costs were 618.4-618.9 UAH/m<sup>2</sup>, which is 4.2-4.7 UAH/m<sup>2</sup> higher than the control. But the increase in basic wage costs in the amount of 4.2 to 5.3 hryvnias/m<sup>2</sup> is explained by the impact due to the increase in the yield of hybrids DRC-564, DRC-2050, DRC-2050 from 1.4 to 1.9 kg/m<sup>2</sup>. Basic wage costs in our full cost structure occupy from 33.9 to 34.0% (Table 4).

When growing indeterminate cherry tomato hybrids according to the method and growing technology, everything was done simultaneously and at the same time for all hybrids (planted plant stand density, watering, plant nutrition, the same substrates, microclimate, plant nutrition and stimulation, protection of plants from pests and diseases), basic costs for raw materials and materials for all hybrids were at the level of UAH 308.4/m<sup>2</sup>, which in turn amounts to 16.9 to 17.0% of the total cost.

Table 4

Economic efficiency of cherry tomato cultivation for 2021–2023

Indicator	Variant			
	Juanita (control)	DRC-564	DRC-2050	DRC-2055
Yield, kg/m <sup>2</sup>	21,21	23,12	22,65	22,67
Marketability, %	95,3	97,2	96,2	96,6
Yield increase, kg/m <sup>2</sup>	0,0	1,9	1,4	1,5
Increase in marketability, %	0,0	1,9	0,8	1,3
Yield from UAH /m <sup>2</sup>	2942,3	3285,6	3182,1	3201,9
Basic energy costs, UAH /m <sup>2</sup>	561,1	561,1	561,1	561,1
Basic expenses for wages, UAH /m <sup>2</sup>	614,2	619,5	618,4	618,9
Basic costs for raw materials and materials, UAH/m <sup>2</sup>	308,4	308,4	308,4	308,4
Costs for packaging, logistics, marketing, UAH/m <sup>2</sup>	168,5	174,2	170,1	172,4
Fixed costs, UAH/m <sup>2</sup>	62,1	62,1	62,1	62,1
Other expenses, UAH/m <sup>2</sup>	98,8	98,8	98,8	98,8
Total production costs, UAH/m <sup>2</sup>	1483,7	1489,0	1487,9	1488,4
Full cost, UAH/m <sup>2</sup>	1813,1	1824,1	1818,9	1821,7
Notional net profit, UAH/m <sup>2</sup>	1129,2	1461,5	1363,2	1380,2
The level of profitability, %	38,4	44,5	42,8	43,1

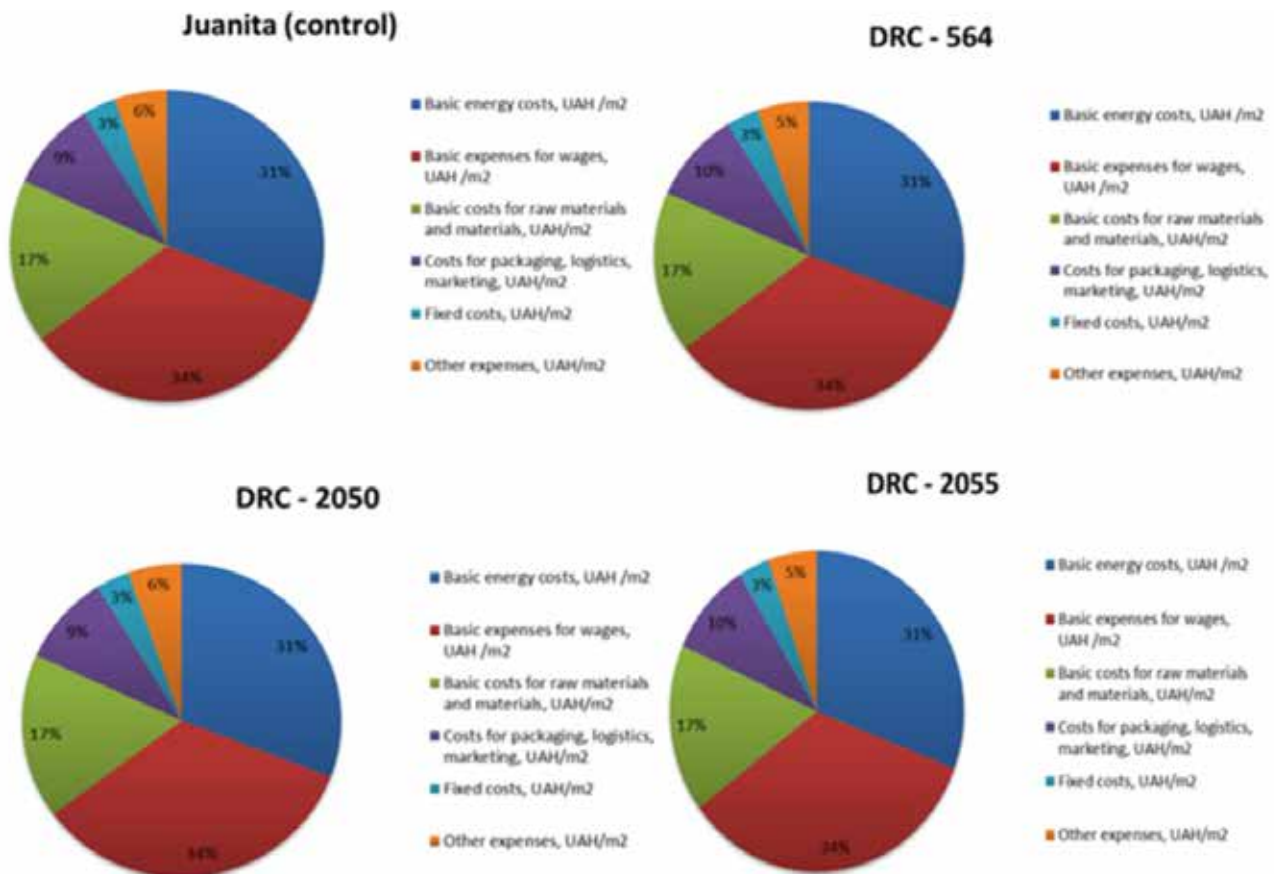


Fig. 2. The full cost of growing cherry tomato hybrids on average in 2021–2023

When growing indeterminate cherry tomato hybrids according to the method and growing technology, everything was done simultaneously and at the same time for all hybrids (planted plant stand density, watering, plant nutrition, the same substrates, microclimate, plant nutrition and stimulation, protection of plants from pests and diseases), basic costs for raw materials and materials for all hybrids were at the level of UAH 308.4. /m<sup>2</sup>, which in turn amounts to 16.9 to 17.0% of the total cost.

Basic costs of raw materials and materials are divided into such categories of costs as: mineral fertilizers, seeds, substrates, plant protection products, pollination materials, agrotechnical materials. Figure 3 deciphers the basic costs of raw materials and shows how much percentage of the basic costs of raw materials and materials is taken by which indicator.

Costs for packaging, logistics and marketing were the lowest in Juanita F1 (control) and amounted to UAH 168.5/m<sup>2</sup>, the highest figure was in DRC-564 F1, which was UAH 174.2/m<sup>2</sup>, which is UAH 5.7/m<sup>2</sup>, higher than the control. In hybrids DRC-2050 and

DRC-2055, costs for packaging, logistics and marketing amounted to UAH 170.1–172.4/m<sup>2</sup>, which is 1.6–3.9 UAH/m<sup>2</sup> higher than the control. This increase in costs for packaging, logistics and marketing in the range from 1.6 to 5.7 hryvnias/m<sup>2</sup> is explained by the effect of higher yields of hybrids DRC-564, DRC-2050, DRC-2050 from 1.4 to 1.9 kg/m<sup>2</sup> compared to the control. Costs for packaging, logistics and marketing in our structure of full cost occupy from 9.3 to 9.5% (Table 4).

The indicator of fixed costs for all studied hybrids of the cherry group is at the level of UAH 52.1/m<sup>2</sup>, and is 3.4% of the total cost. Fixed costs include costs for fuel and lubricants and repairs (Table 4). Other expenses account for 5.4%, or UAH 98.8/m<sup>2</sup>, of the cost price of all studied hybrids of the cherry group. The category of other expenses includes expenses for depreciation, rent taxes, dividends, and social expenses (Table 4).

Profitability indicator UAH/m<sup>2</sup> for the cultivation of promising cherry hybrids was at the level of 2942.3 to 3285.6 UAH/m<sup>2</sup>. The lowest rate of yield was noted on the control of Juanita F1 2942.3 hryvnias/m<sup>2</sup>. DRC-564 F1 was marked with the highest rate of

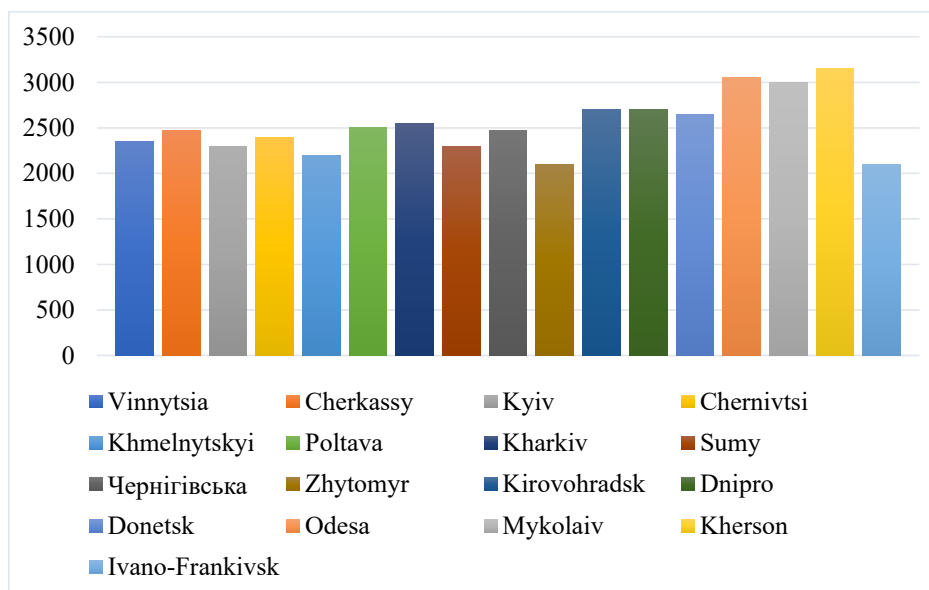


Fig. 3. Basic costs for raw materials and materials in 2021–2023

profitability, it amounted to UAH 3,285.5/m<sup>2</sup>, which is 343.2 UAH/m<sup>2</sup>, or 11.7% higher than the control. In hybrids DRC-2050 and DRC-2055, this indicator was 3182.1 and 3201.9 UAH./m<sup>2</sup>, which is 239.8 UAH/m<sup>2</sup> and 259.6 UAH /m<sup>2</sup>, or 8.2 and 8.8% higher than the control (Table 4).

Conditionally net profit from m<sup>2</sup> under the control of Juanita F1 was UAH 1129.2/m<sup>2</sup>. The highest rate of net profit was noted in DRC-564 F1, it amounted to UAH 1,461.5/m<sup>2</sup>, which is 343.2 UAH /m<sup>2</sup>, or 30.4% higher than the control. DRC-2055 F1 net profit was 1,380.2. UAH /m<sup>2</sup>, which is 251.0 UAH /m<sup>2</sup>, or 22.2% higher than the control. Hybrid DRC-2050 net profit was UAH 1,363.2./m<sup>2</sup>, which is 234.0 UAH / m<sup>2</sup>, or 20.7% higher than the control (Table 4).

The level of profitability of growing cherry tomatoes in winter greenhouses on average for 2021-2023 ranged from 38.4% in the Juanita F1 control to 44.5% in DRC-564 F1. In the hybrid DRC-2055 F1, the level of profitability was 43.1%, and in DRC-2050 F1, it was 42.8% (Table 4).

### Conclusions

The following conclusions were drawn during the research on promising indeterminate hybrids of the cherry tomato group, conducted from 2021 to 2023.

1. Phenological observations confirmed the accurate implementation of technological maps in winter greenhouses, with no deviations in the timing of plant growth. The data are similar to three years ago, when the

greenhouse plants were planned for cultivation for two to four years.

2. The yield of the studied cherry tomato hybrids DRC-564 F1, DRC-2050 F1, and DRC-2055 F1 showed an increase in yield compared to the control hybrid Juanita. The studies showed an increase in yield from 1.4 kg/m<sup>2</sup> to 1.9 kg/m<sup>2</sup>, or at the level of 6.6% to 9.0%. The DRC-564 F1 hybrid showed the highest yield increase of 1.9 kg/m<sup>2</sup>, or 9.0%.

3. Analysis of the marketability of tomato fruits from the cherry tomato hybrids for 2021–2023 showed that it is possible to achieve an increase in marketability ranging from 0.29% to 1.56%. The DRC-564 hybrid showed the best marketability at 97.2%, which is 0.6% higher than the control.

4. The total cost of growing indeterminate hybrids of the cherry group ranged from 1813.1 to 1824.1 UAH/m<sup>2</sup>. The productivity and marketability of tomatoes directly affect the increase in the cost price, due to wages, packaging, logistics, and marketing costs. The total cost of growing the control hybrid Juanita F1 was UAH 1,813.1/m<sup>2</sup>. The highest cost price was UAH 1,824.1/m<sup>2</sup> for the DRC-564 hybrid, which is UAH 11.0/m<sup>2</sup> higher than the control. The cost price for DRC-2050 F1 was UAH 1,818.9/m<sup>2</sup>, which is UAH 5.8/m<sup>2</sup> higher than the control. Hybrid DRC-2055 had a cost price of UAH 1,821.7/m<sup>2</sup>, which is UAH 8.6/m<sup>2</sup> higher than the control.

5. When introducing new promising cherry hybrids into crop rotation, a net profit of UAH 1,461.5/m<sup>2</sup> was obtained for DRC-564 F1,

which is 343.2 UAH/m<sup>2</sup>, or 30.4% higher than the control. The net profit for DRC-2055 F1 was UAH 1,380.2/m<sup>2</sup>, which is 251.0 UAH/m<sup>2</sup>, or 22.2% higher than the control. The net profit for hybrid DRC-2050 was UAH 1,363.2/m<sup>2</sup>, which is 234.0 UAH/m<sup>2</sup>, or 20.7% higher than the control.

6. The level of profitability in growing cherry tomatoes in winter greenhouses ranged from 38.4% to 44.5%. The highest level of

profitability was achieved with the DRC-564 hybrid at 44.5%, which is 6.1% higher than the control hybrid Juanita.

Therefore, based on the conducted research, it was established that the cherry tomato hybrids DRC-564, DRC-2050, and DRC-2055 significantly outperform the control hybrid Juanita in terms of various indicators and can be considered for cultivation in winter greenhouses for extended crop rotation.

### Bibliography

Болотських О.С., Довгаль М.М. Методика біоенергетичної оцінки технології в овочівництві. Харків: ХНАУ, 1999. 34 с.

ДСТУ 3246-95. Помідори свіжі. Технічні умови. Київ: Держстандарт України, 1995. 17 с. [Електронний ресурс] URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=83953](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=83953) (дата звернення 12.05.2024)

Жук О.Я., Сиворакша О.А., Федосій І.О. Помідор: біологія та насінництво: монографія. Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2014. 160 с.

Лебединський І.В., Карачун В.А. Вивчення врожайності індетермінантних гібридів помідора в умовах зимових теплиць. *Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва: матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої ювілейним річницям професорів О.М. Можейка, В.В. Милого, Ю.В. Будьонного, І.І. Назаренка (29–30 листопада 2022 р., м. Харків)* Харків, 2022. С. 180–182.

Карачун В.А. Вплив різних комерційних гібридів підщеп на біометричні показники рослин, врожайність і якість плодів гібриду помідора Мерліс в зимових теплицях. *Аграрні інновації. Серія: «Меліорація, землеробство, рослинництво»*. Одеса, 2024а. Вип. 24. С. 73–85. <https://doi.org/10.32848/agr.innov.2024.24.10>.

Карачун В.А. Господарсько-біологічний потенціал індетермінантних гібридів помідора чері у зимових теплицях. *Таврійський науковий вісник. Серія: «Сільськогосподарські науки»*. Одеса, 2024б. Вип. 135. С. 89–98. [Електронний ресурс]. URL: [https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/135\\_2024/part\\_1/14.pdf](https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/135_2024/part_1/14.pdf) (дата звернення 12.05.2024)

Кисляченко М.Ф. Еколого-економічні перспективи розвитку овочівництва закритого ґрунту в умовах ринкових відносин в Україні. *Продуктивність агропромислового виробництва. економічні науки*. 2013. Вип. 23. С. 62–68.

Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві / за ред. Г.Л. Бондаренка, К.І. Яковенка. Харків: Основа, 2001. 369 с.

Моторна Р.В. Ефективність вирощування овочевої продукції у закритому ґрунті у регіоні. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2007. Вип. 3. Т. 2. С. 163–168.

Рожков А.О., Пузік В.К., Каленська С.М., Пузік Л.М. Дослідна справа в агрономії: навч. посіб. у 2 кн. Кн. 1: Теоретичні аспекти дослідної справи. Харків : Майдан, 2016. 316 с.

Чернешенко В.І., Пашковський А.І., Кириї П.І. Сучасні технології овочівництва закритого ґрунту. Житомир : «Рута» 2018. 400 с.

Чернищенко В.І., Пашковський А.І., Кириї П.І. Сучасні технології овочівництва відкритого ґрунту. Житомир : «Рута», 2017. 338 с.

Яровий Г.І., Романов О.В. Овочівництво: навч. посіб. Харків : ХНАУ, 2017. 376 с.

### References

Bolotskykh, O.S., & Dovgal, M.M. (1999). *Metodyka bioenerhetychnoi otsinky tekhnolohii v ovochivnytstvi* [Methodology of bioenergetic evaluation of technology in vegetable growing]. Kharkiv : KhNAU [in Ukrainian].

DSTU 3246-95 (1995). *Pomidory svizhi. Tekhnichni umovy*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [DSTU 3246-95. Tomatoes are fresh. Technical conditions]. [Electronic resource] URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=83953](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=83953) (access date 12.05.2024) [in Ukrainian].

Zhuk, O.Ya., Syvoraksha, O.A., & Fedosii, I.O. (2014). Pomidor: biolohiia ta nasinnytstvo: monohrafiia [Tomato: biology and seed production: monograph]. Vinnytsia : TOV «Nilan-LTD» [in Ukrainian].

Karachun, V.L. (2024a). Vplyv riznykh komertsiinykh hibrydiv pidshchep na biometrychni pokaznyky roslyn, vrozhainist i yakist plodiv hibrydu pomidora Merlis v zymovykh teplytsiakh [The influence of different commercial hybrids of rootstocks on plant biometric parameters, yield and fruit quality of the Merlis tomato hybrid in winter greenhouses]. *Ahrarni innovatsii. Serii: «Melioratsiia, zemlerobstvo, roslynnytstvo» [Agrarian innovations. Series: "Reclamation, agriculture, crop production"]*, 24, 73–85. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.24.10> [in Ukrainian].

Karachun, V.L. (2024b). Hospodarsko-biolohichniy potentsial indeterminantnykh hibrydiv pomidora cheri u zymovykh teplytsiakh [Economic and biological potential of indeterminate cherry tomato hybrids in winter greenhouses]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Serii: «Silskohospodarski nauky» [Taurian Scientific Bulletin. Series: "Agricultural Sciences"]*, 135, 89–98. [Electronic resource] URL: [https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/135\\_2024/part\\_1/14.pdf](https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/135_2024/part_1/14.pdf) (access date 12.05.2024) [in Ukrainian].

Kysliachenko, M.F. (2013). Ekoloho-ekonomichni perspektyvy rozvytku ovochivnytstva zakrytoho rruntu v umovakh rynkovykh vidnosyn v Ukraini [Ecological and economic prospects for the development of indoor vegetable growing in the conditions of market relations in Ukraine]. *Produktyvnist ahropromysloвого vyrobnytstva [Productivity of agro-industrial production. economic sciences]*, 23, 62–68 [in Ukrainian].

Lebedynskiy, I.V., & Karachun, V.L. (2022). Vychennia vrozhainosti indeterminantnykh hibrydiv pomidora v umovakh zymovykh teplyts [Study of yield of indeterminate tomato hybrids in winter greenhouse conditions]. *Naukovi zasady pidvyshchennia efektyvnosti silskohospodarskoho vyrobnytstva: materialy VI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, prysviachenoii yuvileinym richnytsiam profesoriv O.M. Mozheika, V.V. Myloho, Yu.V. Budionnoho, I.I. Nazarenka (29–30 lystopada 2022 r., m. Kharkiv) [Scientific principles of increasing the efficiency of agricultural production]*. Kharkiv, pp.180–182 [in Ukrainian].

Bondarenko, H.L. (Ed.) (2001). *Metodyka doslidnoi spravy v ovochivnytstvi i bashtannytstvi [Methods of research in vegetable growing and melon growing]*. Kharkiv : Osnova [in Ukrainian].

Motorna, R.V. (2007). Efektyvnist vyroshchuvannia ovochevoi produktsii u zakrytomu rrunti u rehioni [Efficiency of growing vegetable products in closed soil in the region]. *Visnyk ahrarnykh nauk Prychornomor'ia [Bulletin of Agricultural Sciences of the Black Sea Region]*, 3, 163–168 [in Ukrainian].

Rozhkov, A.O., Puzik, V.K., & Kalenska, S.M. (2016). Doslidna sprava v ahronomii: navchalnyi posibnyk [Research work in agronomy: a study guide]. Kharkiv : Maidan [in Ukrainian].

Cherneshenko, V.I., Pashkovskiy, A.I., & Kyrii, P.I. (2018). Suchasni tekhnolohii ovochivnytstva zakrytoho rruntu [Modern technologies of indoor vegetable growing]. Zhytomyr : «Ruta» [in Ukrainian].

Chernyshenko, V.I., Pashkovskiy, A.I., & Kyrii, P.I. (2017). Suchasni tekhnolohii ovochivnytstva vidkrytoho rruntu [Modern technologies of indoor vegetable growing]. Zhytomyr : «Ruta» [in Ukrainian].

Yarovyi, H.I., & Romanov, O.V. (2017). *Ovochivnytstvo: navchalnyi posibnyk [Vegetable growing: a study guide]*. Kharkiv : KhNAU [in Ukrainian].

Отримано: 22.07.2024

Прийнято: 13.08.2024





УДК 631.5:633.8

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.17>

## ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ ТА ЯКОСТІ НАСІННЯ РІПАКУ ОЗИМОГО ЗАЛЕЖНО ВІД ГІБРИДІВ І СПОСОБІВ СІВБИ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ ПРАВОБЕРЕЖНОГО

В. М. Безкоровайний<sup>1</sup>, В. В. Мойсієнко<sup>2</sup>

Ріпак озимий (*Brassica napus* L.) – це найбільш важлива і рентабельна олійна культура в Україні. Основним завданням підвищення його продуктивності є пошук шляхів удосконалення елементів технології вирощування. У статті наведені результати польових і лабораторних досліджень, які виконували в умовах Лісостепу Правобережного на базі ТОВ «Поділля Плюс» Шепетівського району Хмельницької області впродовж 2022–2024 рр. Метою досліджень було вивчення особливостей формування врожаю та якості ріпаку озимого залежно від біологічного потенціалу досліджуваних гібридів (BASF InVigor 1030; NPZ LEMBKE Мерседес; BAYER Експедишн) і трьох способів сівби з міжряддями 15, 30 і 45 см. У ході досліджень використані методи: польовий, лабораторний, статистичний (кореляційно-регресійний) і порівняльно-розрахунковий.

У зв'язку з глобальним потеплінням і критичною нестачею опадів у різні періоди вегетації ріпак озимий потребує здійснення диференціації елементів технології вирощування. Установлено, що на типовому чорноземі (3,2% гумусу) сучасні гібриди спроможні сформувати в середньому від 3,82 до 4,45 т/га насіння. Кращими гібридами за урожайністю відмічені Експедишн та InVigor 1030, приріст урожаю насіння яких за сівби з шириною міжрядь 30 см порівняно з шириною міжрядь 15 см становив відповідно – 0,34 т/га та 0,31 т/га. Густота рослин ріпаку по мірі збільшення ширини міжрядь зменшувалася з 42,7–43,1 шт./м<sup>2</sup> (15 см) до 40,4–41,2 шт./м<sup>2</sup> (30 см) та до 37,1–38,2 шт./м<sup>2</sup> (45 см). За ширини міжрядь 30 см гібриди ріпаку озимого спроможні в середньому сформувати від 419,1 до 444,0 стручків на одній рослині. Маса 1000 насінин гібридів ріпаку за ширини міжрядь 30 і 45 см становила від 6,0 до 6,4 г, що на 0,8–0,9 г більше, ніж за сівби з міжряддям 15 см. Результати досліджень свідчать, що добір сучасних адаптивних гібридів дає змогу підвищити врожайність і якість насіння ріпаку озимого.

**Ключові слова:** гібриди InV 1030, Мерседес, Експедишн, ширина міжрядь, урожайність, густота рослин, кількість стручків на одній рослині, маса 1000 насінин, вміст олії.

<sup>1</sup> аспірант

(Поліський національний університет, м. Житомир)  
ORCID: 0009-0001-6163-8353

<sup>2</sup> доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри технологій у рослинництві  
(Поліський національний університет, м. Житомир)  
e-mail: veraprof@ukr.net

ORCID: 0000-0001-8880-9864

## FORMATION OF YIELD AND QUALITY OF WINTER RAPE SEEDS DEPENDING ON HYBRIDS AND SOWING METHODS IN THE RIGHT BANK FOREST-STEPPE

V. M. Bezkorovainyi, V. V. Moisiienko

Winter rapeseed (*Brassica napus* L.) is the most important and profitable oilseed crop in Ukraine. The main task of increasing its productivity is to find ways to improve the elements of cultivation technology.

The article presents the results of field and laboratory studies carried out in the Right Bank Forest-Steppe on the basis of "Podillya Plus" LLC in Shepetivka district, Khmelnytskyi region, during 2022–2024. The purpose of the research was to study the peculiarities of yield formation and quality of winter rapeseed depending on the biological potential of the studied hybrids (BASF InVigor 1030; NPZ LEMBKE Mercedes; BAYER Exception) and three methods of sowing with row spacing of 15, 30 and 45 cm. The methods used in the research are field, laboratory, statistical (correlation and regression), and comparative and calculative.

Due to global warming and a critical lack of precipitation in different periods of the growing season, winter rapeseed requires differentiation of the elements of cultivation technology. It was found that on typical chernozem (3.2% humus) modern hybrids are able to form an average of 3.82 to 4.45 t/ha of seeds. The best hybrids in terms of yield were Exception and InVigor 1030, the increase in seed yield of which for sowing with a row spacing of 30 cm compared to a row spacing of 15 cm was 0.34 t/ha and 0.31 t/ha, respectively. The density of rapeseed plants with increasing row spacing decreased from 42.7–43.1 plants/m<sup>2</sup> (15 cm) to 40.4–41.2 plants/m<sup>2</sup> (30 cm) and to 37.1–38.2 plants/m<sup>2</sup> (45 cm). With a row spacing of 30 cm, winter rapeseed hybrids are able to form an average of 419.1 to 444.0 pods per plant. The weight of 1000 seeds of rapeseed hybrids at row spacing of 30 and 45 cm ranged from 6.0 to 6.4 g, which is 0.8–0.9 g more than when sown with a row spacing of 15 cm. The research results show that the selection of modern adaptive hybrids can increase the yield and quality of winter rape seeds.

**Key words:** hybrids InVigor 1030, Mercedes, Exception, row spacing, yield, plant density, number of pods per plant, weight of 1000 seeds, oil content.

### Вступ

Ріпак озимий (*Brassica napus* L.) – це важлива олійна культура, оскільки на світовому ринку постійно зростає попит на ріпакове насіння, що пов'язано з розвитком альтернативної біоенергетики. Слід відмітити, що ріпак також є найбільш рентабельною культурою в Україні і тому потребує розширення площ вирощування. Цьогоріч відбулося скорочення посівів у Європі через аномально теплу весну. Аналітики вважають, що компенсувати дефіцит ріпаку переробні заводи ЄС будуть за рахунок України та Австралії (Влащук та ін., 2013; Панчишин та ін., 2023).

Відомо, що гібриди ріпаку озимого більш урожайні, ніж сорти, однак для формування урожайності вони потребують високих норм добрив та ЗЗР. Сорти ж, у свою чергу, характеризуються вищим вмістом олії, низькою вартістю посівного матеріалу. Вони більш адаптивні і пластичні до несприятливих умов вегетації та менш вибагливі до елементів живлення та захисту рослин. Повільний розвиток рослин восени сприяє проведенню сівби у більш ранні строки. З метою уникнення погодних ризиків, науковці рекомендують виробникам вирощувати в господарстві сорти і гібриди (Ткачук та ін., 2024).

Серед основних елементів технології вирощування ріпаку озимого є добір адаптивних гібридів і сортів, строки, способи сівби та норми висіву насіння (Гамаюнова і Гаро, 2023; Сендецький та ін., 2023). Огляд джерел наукової літератури свідчить, що єдиної думки щодо оптимальної ширини міжрядь та норми висіву насіння ріпаку озимого не існує (Юрчук, 2020; Безкоровайний і Мойсієнко, 2024). Вчені вважають, що оптимальний термін сівби ріпаку на насіння – 10–20 серпня за ширини міжрядь 30 і 45 см. Сорт Смарагд забезпечив врожайність насіння 4,6 т/га. Сорти Пегас, Соло, Стілуца за міжряддя 45 см – 4,6; 4,5; 4,5 т/га (Волощук та ін., 2018). Для умов Лісостепу Правобережного доцільно вирощувати середньостиглий гібрид ріпаку Екзотік, який більш урожайний, ніж середньопізні гібриди Ексель та Ексагон. Кращі строки сівби – друга (10 серпня) та третя (21 серпня) декади серпня (Мацера, 2020). Для умов північної частини Лісостепу оптимальним строком сівби вчені пропонують першу декаду вересня (Вишнівський, 2010).

Установлено, що за ширини міжрядь 15 см висота рослин гібриду ІНВ 1030 становила 157 см, а гібриду ІНВ 1165 – 161 см. За міжряддя 40 см висота рослин гібриду ІНВ 1030 у передзбиральний період зменшилася

до 151 см, а у гібриду INV 1165 – до 153 см. Маса 1000 насінин гібридів ріпаку озимого із збільшенням ширини міжрядь зростала від 3,8–3,9 г до 4,7–4,8 г (Забарний і Забарна, 2023).

Результати досліджень у Туреччині показали, що врожайність насіння ріпаку озимого суттєво залежала від ширини міжрядь, але не від відстані між рослинами в рядку. Так, ширина міжряддя 15 см була більш оптимальною, ніж 30 і 45 см (Ozer, 2003). Ширококорядне розміщення «20 + 20 + 40» см збільшило середню врожайність насіння на 10% порівняно зі звичайною шириною міжрядь 30 см. Густота 45 рослин/м<sup>2</sup> забезпечила на 4–10% більшу врожайність, ніж 15 рослин/м<sup>2</sup>. Більша кількість стручків на рослину (близько 17%) була досягнута при ширококорядному розміщенні, що також підтверджувалося вищим індексом листової поверхні та ефективністю використання радіації. При цьому на 22–33% було вищим накопичення надземної біомаси та на 28% збільшувалася кількість насіння, що є перспективною альтернативою для механізованої сівби ріпаку за системи прямого посіву в Центральному Китаї (Wang et al., 2015). Збільшення норми висіву та ширини міжрядь для міжрядного обробітку може зменшити забур'яненість посівів за органічного вирощування ріпаку (Vann et al., 2016). Дослідження в Анталії свідчать, що ширина міжрядь мала значний вплив на врожайність насіння, кількість пагонів, кількість стручків на рослині, кількість насінин у стручку впродовж двох вегетаційних періодів (Uzun et al., 2012). Ширина міжрядь 60 см забезпечила більшу площу посіву і найбільшу кількість стручків на рослині, довжину стручка і врожайність насіння в агрокліматичних умовах Пакистану порівняно з вузькими міжряддями (Waseem et al., 2014). У провінції Сінд установлено, що висота рослин, кількість пагонів, стручків, маса насіння з рослини, насінневий індекс, врожайність насіння та вміст олії також суттєво залежали від ширини міжрядь. Оптимальною виявилася ширина міжрядь 60 см (Oad et al., 2001).

### Матеріал і методи

Експериментальні дослідження із сучасними гібридами ріпаку озимого проводили впродовж 2022–2024 рр. в умовах Лісостепу Правобережного. Ґрунт дослідних ділянок – чорнозем типовий з умістом гумусу 3,2%, рН (сольове) 6,7; уміст азоту, що легко гідролізується, 122 мг/кг

ґрунту; рухомого фосфору 123 мг/кг; обмінного калію 238 мг/кг.

Схема польового досліду з ріпаком озимим включала наступні чинники вивчення культури або елементи технології вирощування. Фактор А – гібриди: in Vigor 1030 (BASF); Мерседес (NPZ LEMBKE); Експешн (BAYER). Фактор В – способи сівби (ширина міжрядь): звичайний рядковий на 15 см; ширококорядний на 30 см; ширококорядний на 45 см.

Під ріпак озимий вносили 150 кг на гектар діаміфоски (N<sub>10</sub>P<sub>26</sub>K<sub>26</sub>), 100 кг сульфату амонію та 300 кг аміачної селітри. Захист рослин від шкочочинних організмів проводили тричі: восени і навесні (період відновлення вегетації та в середині цвітіння). Облікова площа дослідної ділянки 100 м<sup>2</sup>, повторність триразова. Розміщення ділянок у дослідах систематичне. Попередником ріпаку озимого був ячмінь ярий. Норма висіву становила 450 тис. насінин/га.

Гібриди ріпаку озимого, що вивчали, є середньостиглими, період вегетації від сходів до збирання в середньому становить 310–315 днів. Дослідження та отримані результати свідчать, що вони адаптовані до різних природно-кліматичних умов та технологій вирощування з різним рівнем забезпечення ресурсами. Агротехніка вирощування ріпаку озимого загальноприйнята для даної зони. Облік урожаю насіння гібридів ріпаку у дослідах проводили за один день (24 липня 2022 р., 20 липня 2023 р., 19 липня 2024 р.).

### Результати та їх обговорення

Для отримання високого урожаю насіння рослини ріпаку озимого повинні сформувати за вегетаційний період оптимальний травостій або густоту стояння рослин, яка залежить від сприятливих умов росту та розвитку до початку зими, перезимівлі та відновлення весняної вегетації. При згущенні посівів рослини витягуються, що призводить до підняття точки росту над поверхнею ґрунту і до зменшення їх захищеності у морозний період. За ранньої сівби існує можливість застосування регуляторів росту, які дозволяють впливати на осінній розвиток рослин, підвищуючи зимостійкість та урожайність насіння ріпаку. Пізня сівба робить рослини менш розвиненими, що може призвести до вимерзання посівів.

Установлено, що густота рослин ріпаку озимого суттєво залежала від ширини міжрядь і незначно від особливостей гібриду (рис. 1).

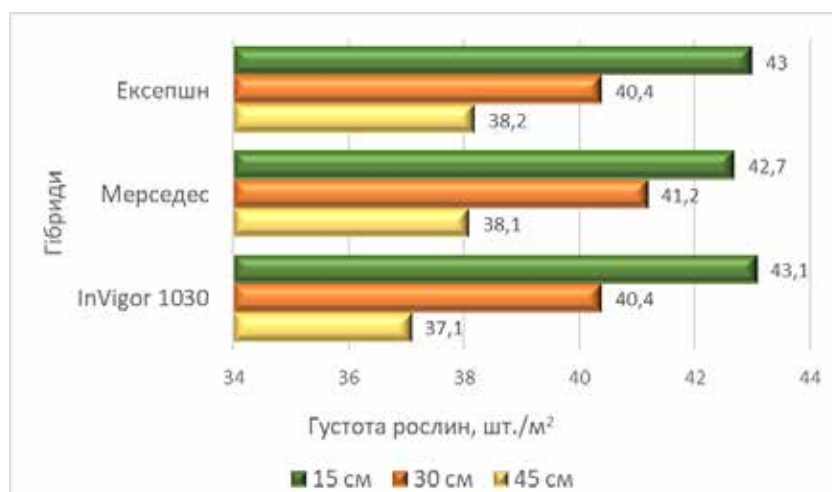


Рис. 1. Густота рослин ріпаку озимого залежно від особливостей гібриду і способу сівби, шт./м<sup>2</sup> (середнє за 2022–2024 рр.)

Середню густоту рослин ріпаку озимого незалежно від факторів, що вивчалися в дослідках, за три роки досліджень спостерігали в межах від 37,1 до 43,1 шт./м<sup>2</sup>. Гідротермічні умови вегетаційного періоду 2021–2022 рр. сприяли формуванню оптимальної густоти рослин за варіантами – 38,3–46,0 шт./м<sup>2</sup>. Найбільша густота стебловою виявлена за рядкової сівби на 15 см, яка була однаковою для усіх трьох гібридів і становила 42,7–43,1 шт./м<sup>2</sup>. За міжряддя 30 см на 1 м<sup>2</sup> виявлено 40,4 та 41,2 рослини ріпаку озимого. Ширококорядний посів з міжряддям 45 см забезпечив густоту рослин 37,8–38,7 шт./м<sup>2</sup>.

Одним із біометричних показників, що характеризує індивідуальну продуктивність

різних гібридів ріпаку озимого є формування стручків на одній рослині. Виявлено, що кількість стручків на рослині значно залежить від гідротермічних умов вегетаційного періоду рослин, біологічних особливостей гібриду і способу сівби. Слід відмітити, що найбільш сприятливими для росту і розвитку рослин ріпаку та формування стручків були погодні умови 2022 року, оскільки вони супроводжувалися підвищеною кількістю вологи і наявністю необхідного для рослин тепла порівняно з багаторічною нормою (табл. 1).

Впродовж вегетаційного періоду 2022/2023 року відмічали більшу кількість тепла і меншу суму опадів, що особливо було характерно у період відновлення весняної

Таблиця 1

Порівняльна характеристика гібридів ріпаку озимого за кількістю стручків на рослині залежно від ширини міжрядь та року досліджень, штук

Гібрид (фактор А)	Спосіб сівби, см (фактор В)	Кількість стручків на рослині за роками, штук			
		2022	2023	2024	середнє
InVigor 1030	15	433,3	412,3	417,3	420,9
	30	456,3	431,0	433,0	440,1
	45	453,3	423,3	425,3	434,0
Мерседес	15	430,3	411,3	415,7	419,1
	30	447,3	428,7	428,3	434,8
	45	457,0	421,3	427,0	435,1
Ексешн	15	435,0	421,7	419,7	425,5
	30	459,7	435,3	434,3	443,1
	45	466,0	432,0	434,0	444,0
НІР <sub>05</sub> , шт. (загальна)		10,93	8,35	3,93	–
для фактору А		6,31	4,82	2,27	–
для фактору В та взаємодії А і В		6,31	4,82	2,27	–

вегетації рослин ріпаку. Аналогічною була характеристика погодних умов у період вегетації ріпаку озимого 2023/2024 року. Установлено, що у рослин гібриду In Vigor 1030 в умовах 2022 р. формувалося на одній рослині незалежно від ширини міжрядь 433,3–456,3 стручків, що на 21–25,3 шт. більше порівняно з 2023 роком і на 16,0–23,3 шт. більше порівняно з 2024 р. У рослин гібриду Мерседес кількість стручків була на 19–35,7 шт. більшою порівняно з 2023 р. і на 14,6–30,0 шт. (2024 р.), а у рослин гібриду Екsepшн відповідно на 13,3–34 шт. більше (2023 р.) та на 15,3–32,0 шт. (2024 р.). Оптимальною для формування стручків виявлено ширину міжрядь 30 см, за якої гібриди ріпаку сформували в середньому за три роки досліджень 434,8–443,1 стручків на одній рослині та широкорядний посів на 45 см – 434,0–444,0. За ширини міжрядь 15 см цей показник був значно меншим і становив 419,1– 425,5 стручків.

Результати отриманих наукових досліджень свідчать про високу продуктивність ріпаку озимого в умовах Лісостепу Правобережного, що сприяли оптимальному росту і розвитку рослин. Врожайність ріпаку озимого залежить від генетичного потенціалу сучасних гібридів, адаптації їх до конкретних природно-кліматичних умов, технології вирощування і загалом високої культури землеробства. Новітні агротехнології повинні найбільш повно задовольняти потребу рослин ріпаку озимого в елементах живлення, вологозабезпеченості, сприятливому температурному режимі впродовж

вегетації. Установлено, що реалізація потенціалу гібриду BASF InVigor 1030 значно залежала від способу сівби ріпаку озимого. Максимальна врожайність насіння отримана за ширини міжрядь 30 см і коливалася за роками в межах 4,18–4,68 т/га (рис. 2).

Найкращі умови для формування врожайності насіння склалися в 2022 р. – 4,68 т/га, що на 0,35 т/га більше порівняно з 2023 р. та на 0,5 т/га більше, ніж у 2024 р. Сівба ріпаку з шириною міжрядь на 45 см забезпечила урожайність насіння гібриду InVigor 1030 від 4,0 до 4,47 т/га і була аналогічною за роками досліджень. Найменша урожайність отримана на варіанті з вузькорядним способом сівби на 15 см – 3,88–4,35 т/га.

Найвища врожайність насіння гібриду Мерседес (компанії NPZ LEMBKE) становила за ширини міжрядь 30 см в 2022 р. – 4,5 т/га, у 2023 р. – 4,13 т/га і в 2024 р. – 3,95 т/га. Широкорядна сівба ріпаку озимого на 45 см забезпечила врожайність насіння за роками на рівні 3,9–4,22 т/га, що на 0,05–0,28 т/га менше порівняно з міжряддям 30 см. Найнижча продуктивність ріпаку гібриду Мерседес виявлена за вузькорядної сівби на 15 см (3,68–3,95 т/га), що на 0,27–0,55 т/га менше, ніж сівба на 30 см (рис. 3).

Насіннева продуктивність гібриду Екsepшн (компанії BAYER ДК) також залежала від способу сівби і найвищою була відмічена за ширини міжрядь 30 см (4,22–4,72 т/га). Приріст урожаю порівняно з міжряддям 15 см становив за роками досліджень 0,44 т/га (2022 р.); 0,32 т/га

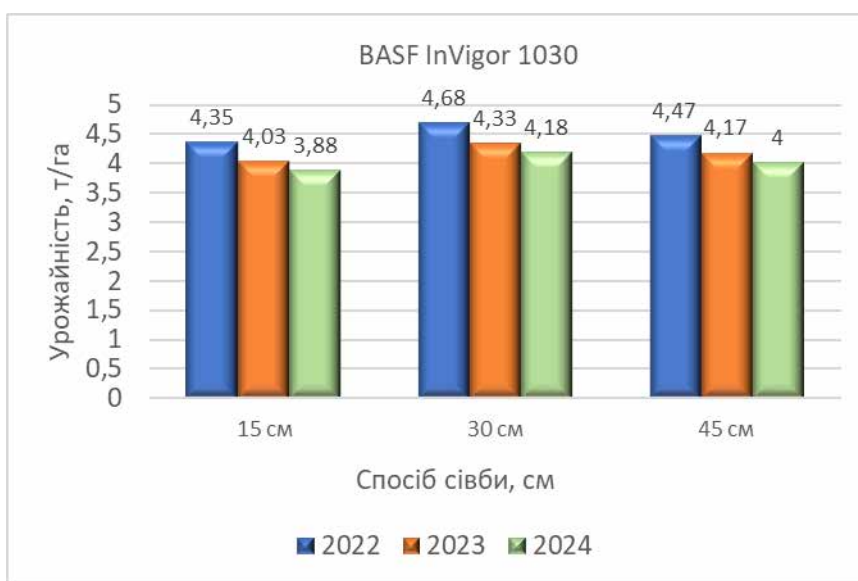


Рис. 2. Урожайність насіння гібриду BASF InVigor 1030 залежно від способу сівби та року досліджень

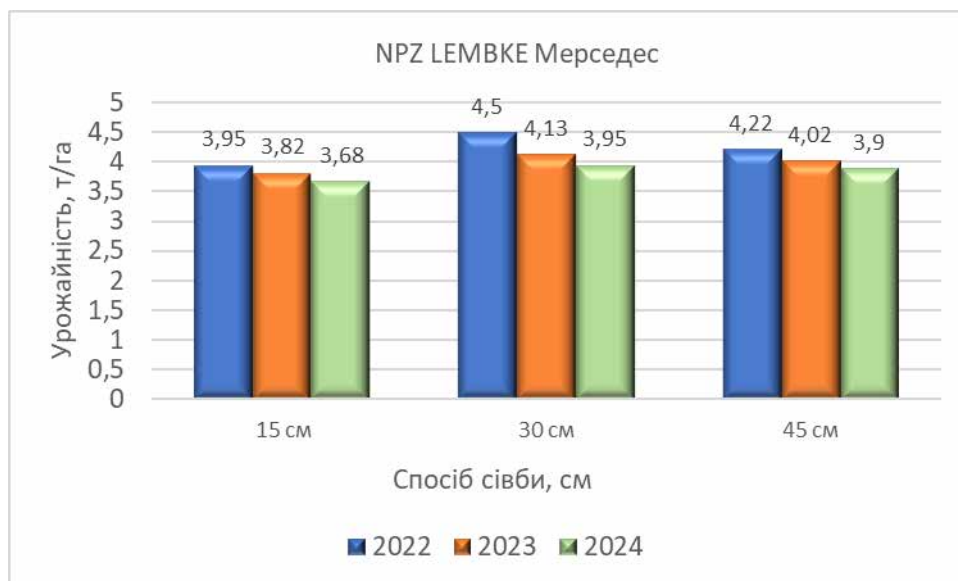


Рис. 3. Урожайність насіння гібриду NPZ LEMBKE Мерседес залежно від способу сівби та року досліджень

(2023 р.) та 0,27 т/га (2024 р.). Врожайність насіння ріпаку гібриду Експешн за сівби на 45 см була меншою від оптимального способу сівби (30 см) на 0,3 т/га (2022 р.), 0,19 т/га (2023 р.), 0,27 т/га (2024 р.) і перевищувала варіант з вузькорядною сівбою (15 см) – на 0,14 т/га (2022 р.); 0,13 т/га (2023 р.), що свідчить про високу продуктивність та адаптивність даного гібриду до гідротермічних умов вирощування (рис. 4).

Результати досліджень свідчать, що продуктивність різних гібридів ріпаку озимого істотно відрізнялася як між собою,

так і за роками досліджень. Найбільш сприятливі умови для росту, розвитку рослин і формування індивідуальної продуктивності гібридів відмічали у 2022 та 2023 рр. Гідротермічні умови вегетаційного періоду 2024 р. були менш сприятливими, що призвело до значного зниження врожайності насіння для гібриду InVigor 1030 порівняно з 2022 р. на 0,47–0,50 т/га і порівняно з 2023 р. на 0,15–0,17 т/га. У гібриду Мерседес зниження врожайності відбулося відповідно на 0,27–0,55 (2022 р.) і 0,14–0,18 т/га (2023 р.). У гібриду

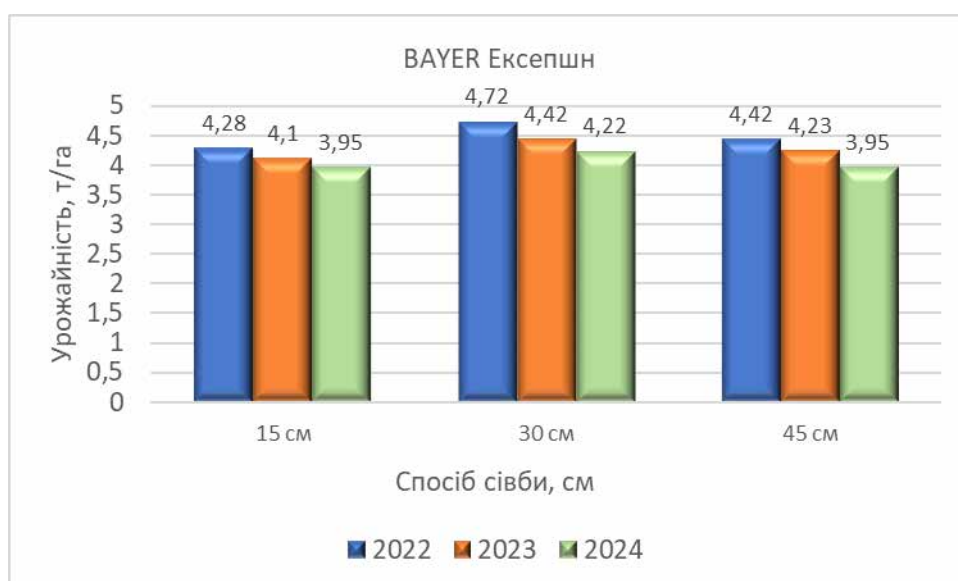


Рис. 4. Урожайність насіння гібриду BAYER ДК Експешн залежно від способу сівби та року досліджень

Експешн відмічали зниження врожайності впродовж 2024 р. порівняно з 2022 р. на 0,33–0,50 т/га і порівняно з 2023 р. – відповідно на 0,15–0,28 т/га.

Установлено, що на масу 1000 насінин ріпаку озимого також впливали способи сівби, умови вирощування і деякою мірою особливості гібридів, що вивчалися в дослідках. Так, найменшим даний показник якості насіння виявлено на варіанті з сівбою ріпаку на 15 см і незалежно від гібриду маса 1000 насінин становила 5,1–5,6 г. За ширококорою сівби на 30 і 45 см маса 1000 насінин коливалася в межах від 6,0 до 6,4 г (табл. 2).

Погодні умови 2022–2023 рр. були більш сприятливими для формування маси 1000 насінин, яка знаходилася на ширококорою посівах в межах від 6,0 до 6,7 г, а в умовах 2024 р. цей показник становив 5,7–6,1 г. За кращою масою 1000 насінин слід виділити гібриди Експешн (6,4 г) та InVigor 1030 (6,2–6,3 г).

Важливим показником якості насіння ріпаку є уміст олії, яка має широке використання, а саме: для споживання людьми, як джерело відновлюваної енергії (біопаливо), сировина для хімічної промисловості, джерело повноцінної енергії та вмісту білка у кормах для годівлі тварин тощо. Ріпакова олія порівняно з іншими рослинними оліями, має найнижчий вміст (6–8%) насичених жирних кислот від загальної їх кількості і багата рослинними стеринами. В олії ріпаку міститься 20–26% лінолевої та 10% ліноленової кислот за сприятливого їх співвідношення (2,5:1).

Результати досліджень свідчать, що насіння гібриду InVigor 1030 містить найбільшу кількість олії – 51,0%, гібрид Експешн – 48,0% і гібрид Мерседес – 47,0%.

#### Висновки

В умовах Лісостепу Правобережного на типовому чорноземі удосконалення окремих елементів технології вирощування ріпаку озимого дає змогу отримати в середньому за три роки досліджень від 3,82 до 4,45 т/га насіння.

Кращими гібридами за урожайністю і індивідуальними показниками продуктивності відмічені Експешн (BAYER) та InVigor 1030 (BASF), приріст урожаю насіння яких за сівби з шириною міжрядь 30 см порівняно з шириною міжрядь 15 см становив відповідно – 0,34 т/га та 0,31 т/га.

Густота рослин ріпаку по мірі збільшення ширини міжрядь зменшувалася і становила для вузькороюного способу сівби (15 см) 42,7–43,1 шт./м<sup>2</sup>, для міжряддя 30 см – 40,4–41,2 шт./м<sup>2</sup> і для міжряддя 45 см – 37,1–38,2 шт./м<sup>2</sup>.

За ширини міжрядь 30 см сучасні гібриди ріпаку озимого спроможні в середньому сформувати від 419,1 до 444,0 стручків на одній рослині.

Маса 1000 насінин гібридів ріпаку за ширини міжрядь 30 і 45 см становила від 6,0 до 6,4 г, що на 0,8–0,9 г більше, ніж за сівби з міжряддям 15 см.

Перспективи подальших досліджень полягають у вивченні нових адаптивних сортів і гібридів ріпаку озимого на фоні інших елементів технології вирощування.

Таблиця 2

Маса 1000 насінин ріпаку озимого залежно від особливостей гібридів та способів сівби (2022–2024 рр.)

Гібрид	Спосіб сівби	Маса 1000 насінин за роками, г			
		2022	2023	2024	середнє
BASF InVigor 1030	15 см	5,4	5,4	5,3	5,4
	30 см	6,4	6,4	6,0	6,3
	45 см	6,3	6,3	6,0	6,2
NPZ LEMBKE Мерседес	15 см	5,3	5,1	5,0	5,1
	30 см	6,1	6,2	5,7	6,0
	45 см	6,0	6,1	6,0	6,0
BAYER Експешн	15 см	5,9	5,4	5,4	5,6
	30 см	6,7	6,3	6,1	6,4
	45 см	6,7	6,4	6,1	6,4
НІР <sub>05</sub> , г (загальна)		0,14	0,27	0,20	–
для фактору А		0,08	0,16	0,12	–
для фактору В та взаємодії А і В		0,08	0,16	0,12	–

### Список використаної літератури

Безкоровайний В.М., Мойсієнко В.В. Насіннева продуктивність гібридів ріпаку озимого залежно від ширини міжрядь в умовах Лісостепу правобережного. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2024. Вип. 75 (2). С. 20–29. [https://doi.org/10.32636/01308521.2024-\(75\)-2-2](https://doi.org/10.32636/01308521.2024-(75)-2-2).

Вишнівський П.С. Вплив строків сівби та системи удобрення на перезимівляю ріпаку озимого. *Землеробство*. 2010. Вип. 1 (2). С. 78–82.

Влащук А.М., Прищепо М.М., Войташенко Д.П. Вплив основної обробки ґрунту, строку та способу сівби на врожайність насіння ріпаку озимого. *Зрошуване землеробство : збірник наукових праць*. 2013. Вип. 60. С. 63–65.

Волощук О.П., Случак О.М., Распутенко А.О. Продуктивність ріпаку озимого залежно від строків, способів сівби та норм висіву насіння. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2018. Вип. 64. С. 44–55. [https://doi.org/10.32636/01308521.2018-\(64\)-4](https://doi.org/10.32636/01308521.2018-(64)-4).

Гамаюнова В.В., Гаро І.М. Урожайність і якість насіння ріпаку озимого залежно від обробки ґрунту, строку та способу сівби в умовах Лісостепу України. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*. 2017. № 1 (58). Т. 1. С. 49–57.

Забарний О.С., Забарна Т.А. Формування продуктивності гібридів ріпаку озимого залежно від ширини міжрядь. «*Наукові доповіді НУБіП України*». 2023. № 5. С. 105. [http://doi.org/10.31548/dopovidi5\(105\).2023.008](http://doi.org/10.31548/dopovidi5(105).2023.008).

Мацера О.О. Вплив елементів технології вирощування на розвиток рослин, врожайність та якість насіння озимого ріпаку. *Danish Scientific Journal*. 2020. Issue 36 (2). С. 7–15.

Панчишин В.З., Стоцька С.В., Журибіда Д.Р. Насіннева продуктивність ріпаку озимого залежно від удобрення та строку посіву в умовах Полісся України. *Таврійський науковий вісник*, 2023. № 130. С. 169–176. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2023.130.25>.

Сендецький В.М., Мельничук Т.В., Сендецький І.В. Продуктивність ріпаку озимого за удосконалення технології вирощування в умовах Лісостепу Західного. *Таврійський науковий вісник*. 2023. Вип. 131. С. 188–195. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.131.24>.

Ткачук О.П., Рязанов С.Ф., Банул С.О. Наукові принципи підбору сортів і гібридів ріпаку озимого. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 7. С. 175–181. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.7.2024.19>.

Юрчук С.С. Урожайність та якість насіння ріпаку озимого залежно від способу посіву та норми висіву в умовах Лісостепу правобережного. *Корми і кормовиробництво*. 2020. № 89. С. 102–111. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202089-10>.

Oad F.C., Solangi B.K., Samo M.A., Lakho A.A., Zia-Ul-Hassan, Oad N.L. Growth, yield and relationship of rapeseed (*Brassica napus* L.) under different row spacing. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2001. Vol. 3. № 4. P. 475–476.

Ozer H. The effect of plant population densities on growth, yield and yield components of two spring rapeseed cultivars. *Plant, Soil and Environment*. 2003. Vol. 49. № 9. P. 422–426. <http://doi.org/10.17221/4151-PSE>.

Uzun B., Yol E., Furat S. The influence of row and intra-row spacing to seed yield and its components of winter sowing canola in the true Mediterranean type environment. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2012. Vol. 18. № 1. P. 89–93.

Vann R.A., Reberg-Horton S.C., Brinton C.M. Row spacing and seeding rate effects on canola population, weed competition, and yield in winter organic canola production. *Agronomy Journal*. 2016. Vol. 108. № 6. P. 2425–2432. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.02.0097>.

Wang R., Cheng T., Hu L.Y. Effect of wide-narrow row arrangement and plant density on yield and radiation use efficiency of mechanized direct-seeded canola in Central China. *Field Crops Research*. 2015. Vol. 172. P. 42–52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2014.12.005>.

Waseem M., Baloch D.M., Khan I. Influence of various row spacing on the yield and yield components of Raya Anmol and Faisal canola under coastal climatic conditions of Lasbela. *American Journal of Plant Science*. 2014. Vol. 5. № 15. P. 2230–2236. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2014.515237>.

### References

Bezkorovainyi, V.M., & Moisiienko, V.V. (2024). Nasinnieva produktyvnist hibrydiv ripaku ozymoho zalezchno vid shyryny mizhriadi v umovakh Lisostepu pravoberezhnoho [Seed productivity of winter rapeseed hybrids depending on row spacing in the right-bank forest-steppe]. *Peredhirne ta*



*hirske zemlerobstvo i tvarynnytstvo [Foothill and mountain farming and animal husbandry]*, 75 (2), 20–29. [https://doi.org/10.32636/01308521.2024-\(75\)-2-2](https://doi.org/10.32636/01308521.2024-(75)-2-2) [in Ukrainian].

Vyshnivskiy, P.S. (2010). Vplyv strokiv sivby ta systemy udobrennia na perezymivliu ripaku ozymoho [Influence of sowing time and fertilizer system on wintering of winter rape]. *Zemlerobstvo [Agriculture]*, 1 (2), 78–82 [in Ukrainian].

Vlashchuk, A.M., Pryshchepo, M.M., & Voitashenko, D.P. (2013). Vplyv osnovnoho obrobitku gruntu, stroku ta sposobu sivby na vrozhainist nasinnia ripaku ozymoho [Influence of basic soil tillage, sowing date and method on the yield of winter rape seeds]. *Zroshuvane zemlerobstvo : zbirnyk naukovykh prats [Irrigated agriculture: a collection of scientific papers]*, 60, 63–65 [in Ukrainian].

Voloshchuk, O.P., Sluchak, O.M., & Rasputenko, A.O. (2018). Produktivnist ripaku ozymoho zalezno vid strokiv, sposobiv sivby ta norm vysivu nasinnia [Productivity of winter rape depending on the timing, sowing methods and seeding rates]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnytstvo [Foothill and mountain farming and animal husbandry]*, 64, 44–55. [https://doi.org/10.32636/01308521.2018-\(64\)-4](https://doi.org/10.32636/01308521.2018-(64)-4) [in Ukrainian].

Hamaiunova, V.V., & Haro, I.M. (2017). Urozhainist i yakist nasinnia ripaku ozymoho zalezno vid obrobitku gruntu, stroku ta sposobu sivby v umovakh Lisostepu Ukrainy [Yield and quality of winter oilseed rape seeds depending on soil tillage, sowing time and method in the forest-steppe of Ukraine]. *Visnyk Zhytomyrskoho natsionalnoho ahroekolohichnoho universytetu [Bulletin of Zhytomyr National Agroecological University]*, 1 (58), 49–57 [in Ukrainian].

Zabarnyi, O.S., & Zabarna, T.A. (2023). Formuvannia produktyvnosti hibrydiv ripaku ozymoho zalezno vid shyryny mizhriad [Formation of productivity of winter rape hybrids depending on row spacing]. «*Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy*» [Scientific reports of NUBiP of Ukraine], 5, 105. [http://doi.org/10.31548/dopovidi5\(105\).2023.008](http://doi.org/10.31548/dopovidi5(105).2023.008) [in Ukrainian].

Matsera, O.O. (2020). Vplyv elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia na rozvytok roslyn, vrozhainist ta yakist nasinnia ozymoho ripaku [Influence of elements of cultivation technology on plant development, yield and quality of winter rape seeds]. *Danish Scientific Journal*, 36 (2), 7–15 [in Ukrainian].

Panchyshyn, V.Z., Stotska, S.V., & Zhurybida, D.R. (2023). Nasinnieva produktyvnist ripaku ozymoho zalezno vid udobrennia ta stroku posivu v umovakh Polissia Ukrainy [Seed productivity of winter rape depending on fertilizer and sowing time in Polissya of Ukraine]. *Tavriiskiyi naukovyi visnyk [Tavrian Scientific Bulletin]*, 130, 169–176. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2023.130.25> [in Ukrainian].

Sendetskiy, V.M., Melnychuk, T.V., & Sendetskiy, I.V. (2023). Produktivnist ripaku ozymoho za udoskonalennia tekhnolohii vyroshchuvannia v umovakh Lisostepu Zakhidnoho [Productivity of winter rape for improvement of cultivation technology in the Western Forest-Steppe]. *Tavriiskiyi naukovyi visnyk [Tavrian Scientific Bulletin]*, 131, 188–195. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.131.24> [in Ukrainian].

Tkachuk, O.P., Razanov, S.F., & Banul, S.O. (2024). Naukovi pryntsypy pidboru sortiv i hibrydiv ripaku ozymoho [Scientific principles of selection of varieties and hybrids of winter rapeseed]. *Ukrainskiy zhurnal pryrodnychuykh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 7, 175–181. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.7.2024.19> [in Ukrainian].

Iurchuk, S.S. (2020). Urozhainist ta yakist nasinnia ripaku ozymoho zalezno vid sposobu posivu ta normy vysivu v umovakh Lisostepu pravoberezhnoho [Yield and quality of winter rape seeds depending on the method of sowing and seeding rate in the right-bank forest-steppe]. *Kormy i kormovyrobnytstvo [Feed and feed production]*, 89, 102–111. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202089-10> [in Ukrainian].

Oad, F.C., Solangi, B.K., Samo, M.A., Lakho, A.A., Zia-Ul-Hassan, & Oad, N.L. (2001). Growth, yield and relationship of rapeseed (*Brassica napus* L.) under different row spacing. *International Journal of Agriculture and Biology*, 3, 475–476 [in English].

Ozer, H. (2003). The effect of plant population densities on growth, yield and yield components of two spring rapeseed cultivars. *Plant, Soil and Environment*, 49, 422–426. <http://dx.doi.org/10.17221/4151-PSE> [in English].

Uzun, B., Yol, E., & Furat, S. (2012). The influence of row and intra-row spacing to seed yield and its components of winter sowing canola in the true Mediterranean type environment. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 18, 89–93 [in English].

Vann, R.A., Reberg-Horton, S.C., & Brinton, C.M. (2016). Row spacing and seeding rate effects on canola population, weed competition, and yield in winter organic canola production. *Agronomy Journal*, 108, 2425–2432. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.02.0097> [in English].

Wang, R., Cheng, T., & Hu, L.Y. (2015). Effect of wide-narrow row arrangement and plant density on yield and radiation use efficiency of mechanized direct-seeded canola in Central China. *Field Crops Research*, 172, 42–52. <http://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.12.005> [in English].

Waseem, M., Baloch, D.M., & Khan, I. (2014). Influence of various row spacing on the yield and yield components of Raya Anmol and Faisal canola under coastal climatic conditions of Lasbela. *American Journal of Plant Science*, 5, 2230–2236. <http://doi.org/10.4236/ajps.2014.515237> [in English].

Отримано: 02.08.2024  
Прийнято: 26.08.2024



УДК 631.471:631.481+528.854:528.855  
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.18>

## СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ҐРУНТОВОГО ДЕШИФРУВАННЯ ДАНИХ КОСМІЧНОЇ ЗЙОМКИ ЯК ІНФОРМАЦІЙНОЇ ОСНОВИ ЗБАЛАНСОВАНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

Т. Ю. Биндич<sup>1</sup>, С. Р. Трускавецький<sup>2</sup>, О. І. Шерстюк<sup>3</sup>

*Необхідність інтеграції нашої країни в загальноєвропейські системи спостережень за навколишнім середовищем актуалізують розробку сучасної системи інформаційного забезпечення природо- та землекористування в Україні на основі даних космічного сканування. Метою досліджень є розроблення методологічних основ діагностування та параметризації неоднорідності локальних структур ґрунтового покриву за даними космічного сканування високого просторового розрізнення як інформаційної основи розробки сучасних систем збалансованого землеробства та раціонального управління ґрунтовими ресурсами. Використано комплекс різноманітних методів: інформаційно-бібліографічний, аналітичний, абстрактно-логічний, польовий та лабораторно-аналітичний, статистичний та математичний, а також методи багатовимірної аналізу, геоінформаційної обробки та геостатистичного аналізу даних. На прикладі досліджень на полігоні «Тишки 1», які включали сумісний аналіз результатів класифікації багатоспектральних космічних зображень та геостатистичного аналізу даних вибіркового наземних обстежень доведено ефективність розроблених методологічних основ тематичної обробки космічних знімків для визначення, параметризації та моделювання локальних структур ґрунтового покриву як основи створення сучасної системи інформаційного забезпечення точного та збалансованого землероб-*

<sup>1</sup> доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник лабораторії охорони ґрунтів від ерозії та дистанційних методів досліджень

(Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», м. Харків)

e-mail: tanyabyndych@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9098-7694

<sup>2</sup> кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник,

старший науковий співробітник лабораторії охорони ґрунтів від ерозії та дистанційних методів досліджень

(Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», м. Харків)

e-mail: starwalkerone@gmail.com

ORCID: 0000-0003-3374-2142

<sup>3</sup> провідний інженер лабораторії охорони ґрунтів від ерозії та дистанційних методів досліджень

(Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», м. Харків)

e-mail: sherstyukalex@gmail.com

ORCID: 0009-0002-2919-0445

ства. За геостатистичним експрес-аналізом даних точкового відбору проб в межах полігону, за індексом Морана, деталізовано умови та фактори латеральної неоднорідності чорноземних ґрунтів (чорноземи типовий, реградований та лучно-чорноземний ґрунт) на схилах різних експозицій.

Встановлено, що на схилі південно-східної експозиції, для якої характерно розвиток ерозійних процесів, латеральна неоднорідність ґрунту є характерною для показників гранулометричного складу, загального вмісту гумусу та окремих складових водного витягу. На схилах північно-західної та північної експозицій, в умовах дуже слабого прояву ерозії, латеральна неоднорідність ґрунту відзначено тільки для показників мікроагрегатного складу, що дозволило визначити вплив структурного складу поверхневого шару ґрунту на формування його оптичного образу. На основі результатів ґрунтового дешифрування даних космічної зйомки розроблено пілотний проект інформаційного сервісу для надання інформації про стан ґрунтових ресурсів широкому колу користувачів: землекористувачам, науковій спільноті, громадськості тощо.

**Ключові слова:** багатоспектральне космічне сканування, ґрунтовий покрив, дешифрування, класифікація зображень, геостатистичний аналіз, неоднорідність ґрунтів.

## MODERN APPROACHES TO SOIL DECODING OF SPACE SURVEY DATA AS AN INFORMATION BASIS FOR BALANCED AGRICULTURE

T. Yu. Byndych, S. R. Truskavetsky, A. I. Sherstyuk

*The need to integrate our country into the general European systems of environmental observation actualizes the improvement of the modern information support system for nature use and land use in Ukraine based on space scanning data. The purpose of the research is development the fundamentals of methodology for diagnosing and parameterizing of local structures heterogeneity of soil cover based on space scanning data with high spatial resolution as an information basis to develop of modern systems of balanced agriculture and rational management of soil resources. It were used a complex of various methods: information-bibliographic, analytical, abstract-logical, field and laboratory-analytical, statistical and mathematical, as well as methods of multidimensional analysis, geo-information processing and geo-statistical data analysis. Using the example of research at the «Tyshki 1» training ground, which included a joint analysis of the results of the multispectral data classification and geostatistical analysis of data from selective ground surveys, It has been proven the effectiveness of developed methodological foundations of thematic processing of space images for the determination, parameterization and modeling of local soil cover structures as the basis to create a modern system information support for precision and balanced farming. According to the geostatistical express analysis of point sampling data within the polygon by Moran's index, conditions and factors of lateral heterogeneity of chernozems (typical chernozem, regraded and meadow-chernozem soil units) on slopes of different exposures were detailed.*

*It was established that on the slope of the south-eastern exposition, which is characterized by the development of erosion processes, lateral soil heterogeneity is characteristic for granulometric composition indicators, total humus content and separate components of water extraction. Lateral soil heterogeneity was noted only for indicators of microaggregate composition on the slopes of the north-western and northern expositions, in conditions of very weak manifestation of erosion, which has allowed to determine the influence of the structural composition of the soil surface layer on the formation its optical characteristics. A pilot project of an information service was developed based on the soil decoding results of space survey data to provide information about the state of soil resources to a wide range of users: land users, the scientific community, the general public.*

**Key words:** multispectral space scanning, soil cover, decoding, image classification, geostatistical analysis, soil heterogeneity.

### Вступ

Збалансоване землеробство складає основу раціонального природокористування, що спрямовано на комплексне вирішення завдань охорони та збереження земельних ресурсів планети шляхом застосування екологічних принципів у процесі прийняття рішень щодо їх використання (Dale et al., 2000). Найбільш розвинуті та

прогресивні підходи щодо сталого та раціонального управління земельними ресурсами, що існують у практиці землеробства у світі, ставлять у пріоритет збереження продуктивності сільськогосподарських земель, родючості ґрунту й, в цілому, сільських ландшафтів для нинішніх та майбутніх поколінь (Applying..., 2001). Ці підходи передбачають використання сільсько-

господарських земель у стані, близькому до природного, що потребує оптимізації агровиробництва та досягається шляхом вибору найкращого типу використання земель, що встановлюється за математичним моделюванням на основі точних даних про якісний стан ґрунтів та детальному врахуванні просторового розподілу їх основних агроекологічних властивостей. Зрозуміло, що сучасні підходи до розробки збалансованих систем землеробства потребують актуальних даних про стан земельних та ґрунтових ресурсів як складової їх екологічного менеджменту, що отримано за регулярними та системними їх спостереженнями (FAO. Report..., 2014; IPBES, 2018). За рішеннями 13-ої конференції сторін Конвенції ООН по боротьбі з опустелюванням, підкреслено важливість залучення даних багатоспектрального космічного сканування (БСКС), як новітнього джерела об'єктивної інформації про стан земної поверхні, в існуючі системи спостережень за станом навколишнього середовища та раціонального природокористування (Report..., 2017), що актуалізує наукові дослідження щодо розробки методології їх використання для створення сучасних систем спостережень довкілля Україні та, зокрема, для досліджень ґрунтового покриву (ҐП) на землях сільськогосподарського призначення.

Раніше співробітниками сектору дистанційного зондування ҐП ННЦ «ІА імені О.Н. Соколовського» проведено узагальнення сучасних підходів створення систем природо- та землекористування на основі даних БСКС та відзначено, що розробка повної організаційної структури процесу використання цих даних для виявлення змін стану ґрунтів та ҐП, що дозволяють визначити їх функціональні зміни, ступінь деградації, а також дозволяють своєчасно проводити коригувальні заходи, потребує системної науково-дослідної роботи, що має міждисциплінарний характер та значний рівень високотехнологічних підходів до аналізу різноформатних даних (Трускавецький та ін., 2018; Биндич, 2022). У цілому ж, аналіз досвіду створення та функціонування сучасних систем інформаційного забезпечення використання та моніторингу сільськогосподарських земель на основі даних БСКС показав, що спільним для них є застосування вибіркового методу збору даних по мережі наземних об'єктів спостереження для здійснення ідентифікації та моніто-

рингу стану сільськогосподарських об'єктів та, зокрема, ґрунтів, можливість визначати динаміку стану сільськогосподарських об'єктів за різночасовими даними космічного знімання, активно розробляти та залучати опорну наземну тематичну інформацію про стан ґрунтів для автоматизованої обробки та дешифрування даних БСКС (Ґрунтови..., 2020).

Загалом, отримання узгоджених даних про стан ҐП на основі даних космічного знімання має особливу актуальність для України не тільки у зв'язку з необхідністю вирішення різноманітних проблем землекористування та збереження ґрунтів, але й для розвитку спільної сільськогосподарської політики України як країни-кандидата на вступ до ЄС, що потребує вдосконалення системи інформаційного забезпечення землекористування точною інформацією про якість ґрунтів та просторовий розподіл їх властивостей. У зв'язку з цим, питання розвитку інформаційної бази землекористування та спостережень за станом ґрунтів в межах сільськогосподарських угідь складають основу численних програм наукових досліджень в ЄС (King et al, 1995a, 1995b; The thematic..., 2006; Varuth et al., 2008), а також сумісних проєктів, що здійснено за участю українських фахівців (Станкевич і Козлова, 2007; Загальська, 2014).

Таким чином, метою проведених досліджень є розроблення методологічних основ діагностування та параметризації неоднорідності локальних структур ҐП на основі даних БСКС високого просторового розрізнення як інформаційної основи розробки сучасних систем збалансованого землеробства, моніторингу ґрунтів та раціонального управління ґрунтовими ресурсами. Для досягнення поставленої мети, в основному, вирішували завдання оцінювання інформативності даних БСКС високого просторового розрізнення в якості джерела первинної інформації дослідження неоднорідності локальних структур ҐП та розроблення методологічних основ визначення неоднорідності локальних структур ҐП за сумісним, геостатистичним аналізом даних БСКС та даних вибіркового дослідження ґрунтів як інформаційної основи дешифрування даних БСКС для всебічного моделювання та точного опису локальних структур ҐП. Об'єкт дослідження – локальні структури ҐП. Предмет дослідження – латеральна неоднорідність показників властивостей ґрунтів.

## Матеріал і методи

Для досягнення мети та вирішення поставлених завдань використано методи: інформаційно-бібліографічний та аналітичний – для аналізу існуючих підходів щодо визначення латеральної неоднорідності ґрунтів та характеристики даних БСКС як базової інформації ґрунтознавчих досліджень; абстрактно-логічний – для теоретичного узагальнення та формування висновків щодо дослідження неоднорідності ҐП на основі даних космічної зйомки; польовий та лабораторно-аналітичний – для визначення комплексу ґрунтових показників і генезису ґрунтів як основи тематичного дешифрування даних БСКС та верифікації його результатів; багатовимірний аналіз та методи геоінформаційної обробки та геостатистичного аналізу даних – для просторової диференціації ҐП за даними БСКС та створення похідних картографічних матеріалів; статистичний – для виявлення достовірності здобутих результатів; математичний (дисперсійний, регресійний, кореляційний, факторний) – для встановлення залежностей і зв'язків між властивостями та оптичними характеристиками поверхневого шару ґрунту як основи моделювання неоднорідності ҐП за даними БСКС.

Прикладом найбільш повних та комплексних досліджень щодо розробки основ такої методології є дослідження на полігоні «Тишки 1» (197 га) впродовж 2005–2020 рр., який розташований у лісостеповій зоні країни та представляє типovu для регіону елементарну ландшафтну структуру – перехід вододільної хвилястої місцевості в балочну западину. Згідно чинний в Україні схеми фізико-географічного районування (Маринич і Шищенко, 2005), цей полігон відносяться до Золочівсько-Чугуївського фізико-географічного району Харківської височинної області Східноукраїнського краю, для якого характерні ерозійно-деревоподібні сполучення чорноземів типових глибоких середньо та малогумусних та висотно-впорядковані сполучення чорноземів опідзолених та вилугуваних. Ґрунтотворною породою в межах цієї території є лесоподібний суглинок, висококарбонатний, важко-суглинковий та легкоглинистий.

Дослідження передбачали аналіз різноманітних матеріалів для полігону, а саме: даних космічного апарату Landsat 8 (дата зйомки 05.05.2017 року), архівних матеріалів (топографічні карти та плани землевпорядкування масштабу від 1:10000 до 1:25000,

ґрунтові карти у масштабі від 1:25000 до 1:50000, фондові матеріали ННЦ «ІА імені О.Н. Соколовського»). Основний принцип вибору даних БСКС полягав у пріоритетності використання зображень відкритої ґрунтової поверхні (орні землі в умовах передпосівної обробки та зяблевої оранки, повітряно-сухого стану поверхні ґрунту), що дозволяє дешифрувати локальні структури ҐП за прямими дешифрувальними ознаками – їх оптичними характеристиками.

Методика досліджень включала побудову та аналіз цифрової моделі рельєфу (ЦМР), розрахунок вегетаційних індексів, зокрема NDVI, а також польове обстеження території відповідно до чинних в країні стандартів: ДСТУ 4287:2004, ДСТУ ISO 10381-1:2004, ДСТУ ISO 10381-2:2004, ДСТУ ISO 10381-3:2004, ДСТУ ISO 10381-4:2005. Польові дослідження ҐП передбачали точну географічну прив'язку ґрунтових розрізів та місць відбирання проб ґрунту за допомогою приладів глобальної системи позиціонування (GPS). Обсяг наземних спостережень на полігоні «Тишки 1» загалом склав 24 розрізи, 78 проб за регулярною мережею (100 м) та 272 проби за інформаційною сіткою геосистемної оцінки ерозійної небезпеки земель (Куценко, 2008), яка деталізує геоморфологічні особливості дослідної території.

Аналітичні методи включали визначення: гранулометричного та мікроагрегатного складу ґрунту за методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського згідно з ДСТУ 4730:2007 та ДСТУ 4728:2007, загального вмісту гумусу за методом І.В. Тюріна, за титрометричним варіантом згідно з ДСТУ 4289:2004, рН ґрунту за інструментальним методом із застосуванням скляного електроду в суспензії ґрунту в воді та в розчині KCl – ДСТУ ISO 10390:2007, катіонно-аніонного складу водної витяжки за комплексометричним, аргентометричним та полум'яно-фотометричними методами згідно з ДСТУ 7908, ДСТУ 7909, ДСТУ 7944 та ДСТУ 7945, складу обмінних катіонів за методом Шоленберга (титрометричний варіант).

Математико-статистична обробка даних БСКС та результатів аналітичних вимірювань проводилася за методами дисперсійного, кореляційного, регресійного аналізів в програмі Statistica. Створення ЦМР та обробка даних БСКС, розрахунок вегетаційних індексів, а також їх перетворення, геостатистичний аналіз та числову таксономію за кластерним аналізом, проведено

за допомогою геоінформаційних систем (ГІС) TNT та ENVI.

### Результати

Під час досліджень розроблено та опрацьовано методи ґрунтового дешифрування, які включають на початковому етапі крім процедур попередньої обробки та загально-статистичного аналізу зображення, також його класифікацію за методами неконтрольованої класифікації. При цьому, під час аналізу результатів класифікації використано метод просторового аналізу та співставлення результатів дискретизації зображення, що отримано при послідовному підвищенні кількості класів. Встановлення взаємної обумовленості ознакової та територіальної диференціації ҐП на основі даних космічного сканування здійснено за статистико-картографічним аналізом, який передбачає перевірку коректності визначених виділів ґрунту на основі статистичного аналізу даних польового обстеження та картографічного контролю в реальному географічному просторі, а також аналізу зв'язків елементів структури ҐП з факторами його диференціації (перш за все, з ЦМР).

Для оцінювання якості просторової диференціації ҐП за даними БСКС та визначення закономірного характеру варіювання ґрунтових властивостей у просторі здійснено геостатистичний експрес-аналіз даних точкового відбору проб з поверхневого шару

ґрунту за допомогою глобального індексу Морана ( $I_M$ ) та його супутніх оцінок ( $Z$ -оцінки та  $p$ -значення), що дозволяє оцінити результати відбирання проб у контексті нульової гіпотези, яка стверджує, що проаналізовані атрибути дослідного просторового об'єкту розподілені випадково, що рівнозначно його однорідності (Moran, 1950; Li et al., 2007).

За результатами дешифрування даних Ландсат 8 для полігону «Тишки 1», встановлено пріоритетність використання методу ISODATA для визначення виділів ґрунту незначної площі, що імовірно представляють розподіл елементарних ґрунтових ареалів. Оптимальну картографічну модель обрано шляхом аналізу автокореляційних функцій оптичної яскравості поверхні ґрунту за напрямками, які характеризувалися значними варіаціями цієї ознаки та перетинали ділянки полігону, які є відмінними за ЦМР (рис. 1). Розгляд карт, які отримано при поступовому збільшенні ступеня дискретизації зображення (від 2 до 12 класів) показав, що на рівні 8 класів досягається таке взаємне розташування контурів, яке в цілому, простежується й для більшого ступеня, що вважається ознакою якісної класифікації (рис. 2).

Співставлення результатів класифікації з ЦМР показало певну приуроченість побудованих за даними БСКС контурів до окремих елементів рельєфу, що в цілому відповідає

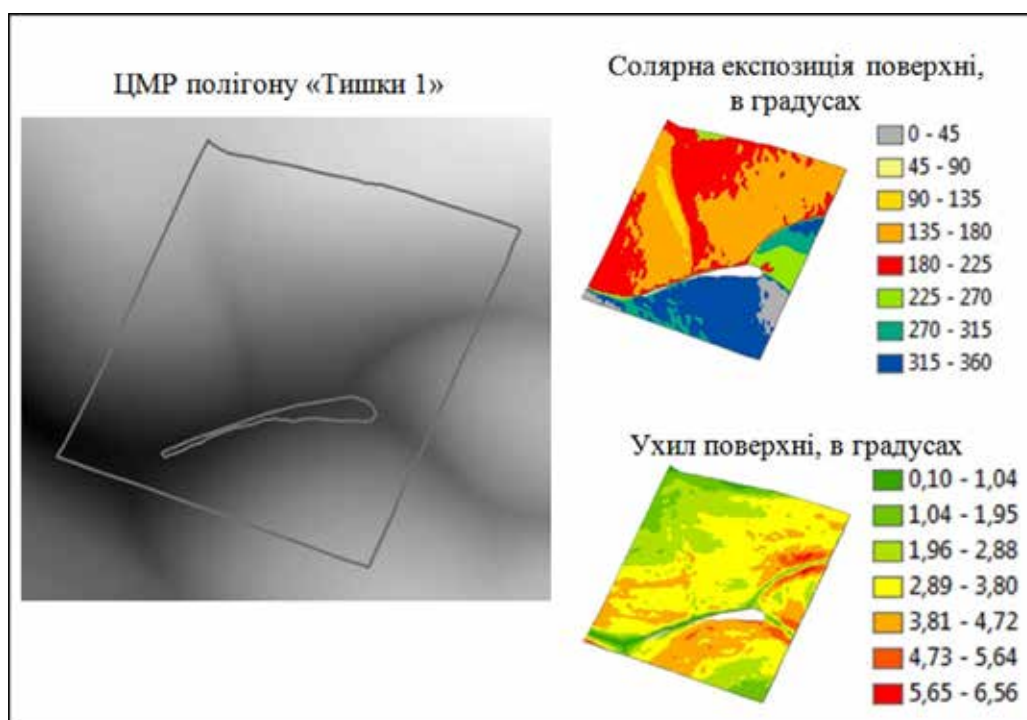


Рис. 1. ЦМР полігону «Тишки 1» та її похідні

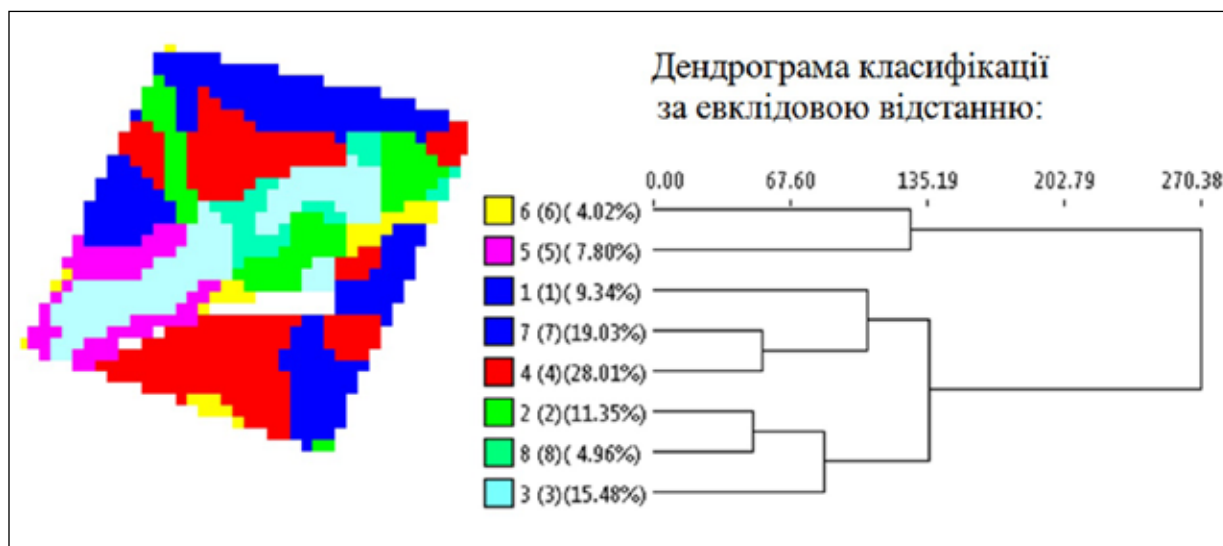


Рис. 2. Результати класифікації космічного зображення полігону «Тишки 1» за методом ISODATA на рівні 8 класів

чинним, традиційним підходам до картографування ґП, які існують в українському ґрунтознавстві та підтверджує коректність картографічної моделі, яка деталізує особливості схилової системи цієї території.

Статистичний аналіз даних, що здійснено за аналітичними дослідженнями відібраних проб ґрунту (в якості навчальної вибірки дешифрування), зокрема аналіз розподілів загального вмісту гумусу, гідролітичної кислотності та вмісту фракцій фізичної глини (ФГ) показали від'ємну асиметрію, розподіл рН сольового також має високий коефіцієнт ексцесу ( $E \geq 0,4$ ). На основі цього зроблено висновок, що вибірка складається зі споріднених виділів ґрунту, але відмінних за режимами. Опис розрізів, які закладено в межах визначених за даними БСКС класів ґрунтів, показав їх належність до малогумусних чорноземів реградованого та типового, з відмінами за глибиною скипання карбонатів, потужністю гумусованої частини профілю, вмістом ФГ та ступенем еродованості.

На основі аналізу  $I_M$  та його супутніх оцінок визначено, що диференціація ґП полігону «Тишки 1» за даними БСКС лише частково вирішила завдання виділення однорідних відмін ґрунту. Найбільш однорідними виявилися за загальним вмістом гумусу виділи чорноземів реградованого та типового малогумусних важкосуглинкових слабозмитих на лесоподібному суглинку, для яких  $I_M$  знаходився в інтервалі від -0,21 до 0,09 ( $Z$ -оцінки – від -1,3 до 1,2,  $p$ -значення – від 0,18 до 0,9); за рН сольовим та гідролітичною кислотністю – різновиди чорнозему

типового глибокого та середньоглибокого малогумусного як на лесоподібному суглинку, так і на делювіальних відкладах, для яких  $I_M$  складав від -0,03 до 0,41 ( $Z$ -оцінки – від -0,5 до 1,55,  $p$ -значення – від 0,12 до 0,63). Для цих виділів характерною є й однорідність за вмістом ФГ, за фактором дисперсності Качинського ( $\Phi d$ ) для яких  $I_M$  складав від -0,08 до 0,20 ( $Z$ -оцінки – від -0,03 до 1,36,  $p$ -значення – від 0,15 до 0,8). За гранулометричним показником структурності за А.Ф. Вадюніною для гумусних ґрунтів ( $P$ ) та за ступенем агрегатності за Бейвером та Роадесом ( $Ka$ ) однорідними виявилися виділи чорнозему типового середньо та важкосуглинкового на лесоподібному суглинку та делювіальних відкладах і чорнозем реградований малогумусний важкосуглинковий слабозмитий на лесоподібному суглинку, для яких  $I_M$  складав від -0,20 до 0,26 ( $Z$ -оцінки – від -0,8 до 0,9,  $p$ -значення – від 0,3 до 0,9).

Більшість з визначених за даними БСКС різновидів чорнозему типового на лесоподібному суглинку та виділ лучно-чорноземного глибокоскипаючого легкоглинистого ґрунту за відносними показниками структурного стану виявилися неоднорідними. Так, за показником  $P$ , для цих ґрунтів  $I_M$  складав від 0,34 до 0,49 ( $Z$ -оцінка – від 3,09 до 4,07,  $p$ -значення – біля 0,002), за  $\Phi d$  –  $I_M$  знаходився в інтервалі від 0,10 до 0,59 ( $Z$ -оцінка – від 1,81 до 5,98,  $p$ -значення – від 0,002 до 0,07).

Для верифікації результатів класифікації космічного зображення полігону та точ-



ного опису ґрунтових властивостей у межах кожного з визначених за даними БСКС класів ґрунтів проведено геостатистичне моделювання за емпіричним байєсовим кригінгом – аналізом (ЕБК) даних навчальної вибірки ґрунтового дешифрування даних БСКС. Слід відзначити, що використання ЕБК обґрунтовано його можливостями щодо моделювання для окремих піднаборів даних, а також для автоматичного врахування невизначеностей, які пов'язано з побудовою емпіричних варіограм. В цілому ж, результати побудови варіограм для двох різних ділянок полігону (окружності на рис. 3), демонструють різницю у характері варіювання дослідної ознаки ґрунту. Аналіз варіограм, які побудовано для двох ділянок в межах полігону «Тишки 1» доводить закономірне варіювання загального вмісту гумусу в ґрунті, але більш значне – для мало-

гумусної ділянки, в серединній частині полігону (верхня варіограма), яка характеризується як меншим медіанним значенням самородку, так й більший нахилом варіограми. Це підтверджує наявність неоднорідності ґП полігону та доречність його просторової диференціації, зокрема на основі даних БСКС. Аналіз результатів перехресної перевірки інтерполювання за методом ЕБК також підтвердив ефективність використання цього методу моделювання для створення коректної картограми загального вмісту гумусу для полігону «Тишки 1».

### Обговорення

ґП є надзвичайно складним об'єктом дешифрування за даними БСКС, тому що характеризується довільністю форм контурів, відсутністю строгої впорядкованості в їх розташуванні на місцевості, незначною тривалістю часу, коли перебуває в оптималь-

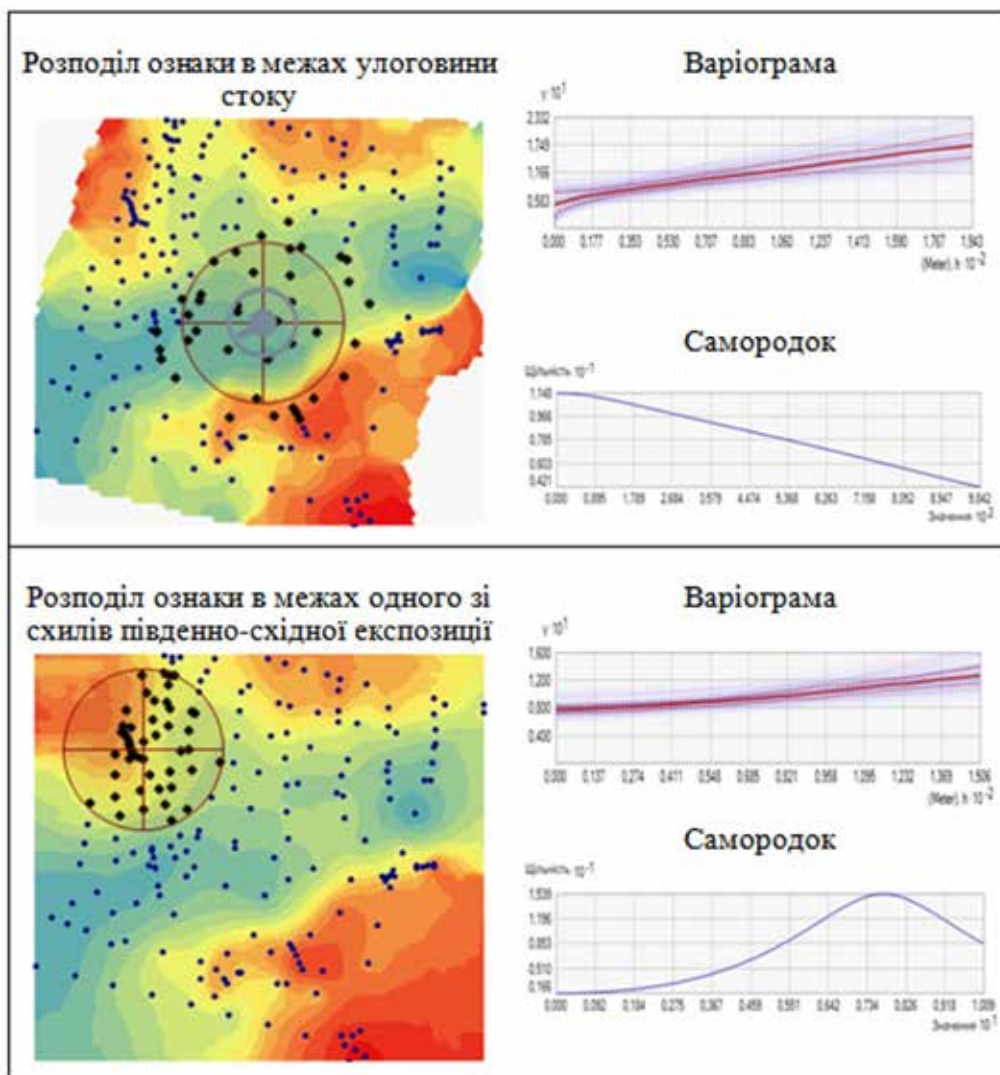


Рис. 3. Результати геостатистичного моделювання даних вибіркового, відбору проб на полігоні «Тишки 1» для загального вмісту гумусу у ґрунті за методом ЕБК

них умовах для знімання відкритої поверхні ґрунту, що достатньо часто унеможливає дешифрування ґрунтів за прямими дешифрувальними ознаками. Тому часто використовують метод ландшафтної індикації, який складається у непряму або опосередкованому визначенні властивостей ґрунтів, за допомогою зв'язків ґрунтів з іншими компонентами ландшафтів. У зв'язку з цим, не можна визначити, що ґрунтове, як гаузовий вид дешифрування даних БСКС є достатньо розвинутим напрямом у світовій науці та практиці. Враховуючи це, а також новітній характер запропонованих підходів щодо використання даних БСКС, вважаємо за необхідне в рамках представленої роботи більш детально розглянути підходи до аналізу отриманих результатів, оскільки це дозволяє не тільки довести ефективність розроблених методів обробки даних БСКС, але й вдосконалити методи інтерпретаційного завдання дешифрування – трансформування інформації щодо оптичних властивостей ґрунтової поверхні в інформацію про складові структури ІП та кількісні оцінки його неоднорідності. Зокрема, на наш погляд, важливим результатом проведених досліджень є можливість кількісного опису складових локальних структур ІП в межах сільськогосподарських угідь.

Оскільки найбільш повною характеристикою випадкової величини є закон її розподілу, то для узагальнюючого опису та параметризації просторової неоднорідності ІП в межах дослідного полігону «Тишки 1» було здійснено вилучення результатів геостатистичного моделювання за основними показниками ґрунтів для окремих класів ґрунтів, які визначено за класифікацією даних БСКС.

За загально-статистичним аналізом дослідних ознак ґрунту зроблено узагальнюючий висновок щодо ступеня їх мінливості та суттєвій відмінності законів їх розподілу від нормального (за значеннями показників асиметрії та ексцесу розподілу, а також їх похибок), що обґрунтовує використання робастних оцінок опису сукупності для кожного з класів, визначених під час класифікації даних БСКС.

Так, визначені в межах полігону класи ґрунтів певним чином диференційовані (чорнозем типовий, реградований та лучно-чорноземний ґрунт) за значенням медіани. Так медіанне значення за загальним вмістом гумусу для першого, другого, четвертого, сьомого та восьмого класів, які представляють різновиди чорнозему типо-

вого, знаходиться в межах від 3,6 до 4,0%. Виключення складає лише чорнозем намитий (5 клас), який відрізняється дещо облегшеним гранулометричним складом та пов'язаним з цим зниженим медіанним значенням загального вмісту гумусу – 3,26%. В той час, коли медіанне значення для цього показнику ґрунту для лучно-чорноземного ґрунту та реградованого чорнозему (клас 3) є проміжним та дуже подібним, що складає відповідно 3,5 та 3,4%. Також відмінним за медіанним значенням ступеню агрегатності за Бейвером та Родесом можна вважати чорнозем типовий легкоглинистий, який достатньо відрізнявся від важкосуглинкового різновиду. Проміжні медіанні значення для цього показнику ґрунту відзначено для чорнозему типового середньосуглинкового та лучно-чорноземного ґрунту (відповідно п'ятий та шостий класи). Визначені за даними БСКС виділи ґрунтів добре диференційовані за медіанним значенням рН сольового. Так медіана цього показнику для всіх класів, що відповідають чорнозему типовому важкосуглинковому та легкоглинистому, знаходилась в інтервалі між 5,4 та 5,7 моль на 1 л. Цікаво, що визначені за даними БСКС класи ґрунтів (чорнозем типовий, реградований та лучно-чорноземний ґрунт) диференційовані за значенням медіани, перш за все, для відносних показників структурного стану, наприклад,  $K_a$  та  $P$ , які є значно відмінними для різновидів чорнозему типового та лучно-чорноземного ґрунту.

У цілому ж, геостатистичний експрес-аналіз даних точкового відбору проб за  $I_M$  на полігоні «Тишки 1» дозволив деталізувати умови та фактори латеральної неоднорідності чорноземних ґрунтів (чорноземи типовий, реградований та лучно-чорноземний) у межах схилів різних експозицій (див. рис. 1). Зокрема, встановлено, що на схилі південно-східної експозиції, для якої в тій чи іншій мірі характерно розвиток ерозійних процесів, латеральна неоднорідність характерна для показників гранулометричного складу, загального вмісту гумусу та окремих складових водного витягу. На схилах північно-західної та північної експозицій, в умовах дуже слабого прояву ерозії, латеральна неоднорідність відзначено тільки для показників мікроагрегатного складу, що дозволило зробити висновок про значний вплив структурного складу поверхневого шару ґрунту на формування його оптичного образу.

Значний обсяг польових досліджень, зокрема значна кількість ґрунтових розрі-

зів, що закладено в межах цього полігону дозволили встановити можливість використання даних БСКС для визначення елементів локальних структур ГП, які є відмінними за характеристиками вертикальної будови ґрунту (грубизна гумусового шару, глибина карбонатного шару й тощо), що дозволяє визначити наявність прямого або опосередкованого зв'язку між оптичними характеристиками поверхні ґрунту та його морфологічною будовою. Й саме цей висновок обґрунтовує доцільність використання даних БСКС високого просторового розрізнення для створення актуальних великомасштабних ґрунтово-картографічних матеріалів, які складатимуть сучасну систему інформаційного забезпечення раціональних систем землі та природокористування у нашій країні.

Крім цього, на наш погляд, розроблені підходи до сумісного аналізу результатів обробки та класифікації даних БСКС, геостатистичної обробки та моделювання даних, що отримано за даними відбору проб із поверхневого шару ґрунту, дозволили

отримати дані щодо якісного стану ґрунтів значної точності та встановити основні закономірності просторового варіювання властивостей ґрунту за комплексом показників ґрунту, що доцільно використовувати під час оцінювання ефективності агрозаходів, розробки систем точного, збалансованого землеробства.

У зв'язку з цим, на прикладі полігону «Тишки 1», для якого накопичено значну кількість різноманітної, корисної для землекористувача інформації, що отримана за результатами тематичного дешифрування даних космічного сканування високого просторового розрізнення також апробовано підходи до створення сучасних інформаційних сервісів для землекористувачів.

Зокрема, під час створення пілотного проєкту інформаційного сервісу для полігону використано відомі програмні продукти, зокрема ArcGIS Online (Architecting..., 2023). ArcGIS Online використано як точку доступу до сайту ArcGIS Server, що представляє більш зручну для швидкого пошуку і використання веб – сервісів ГІС, а також має авто-

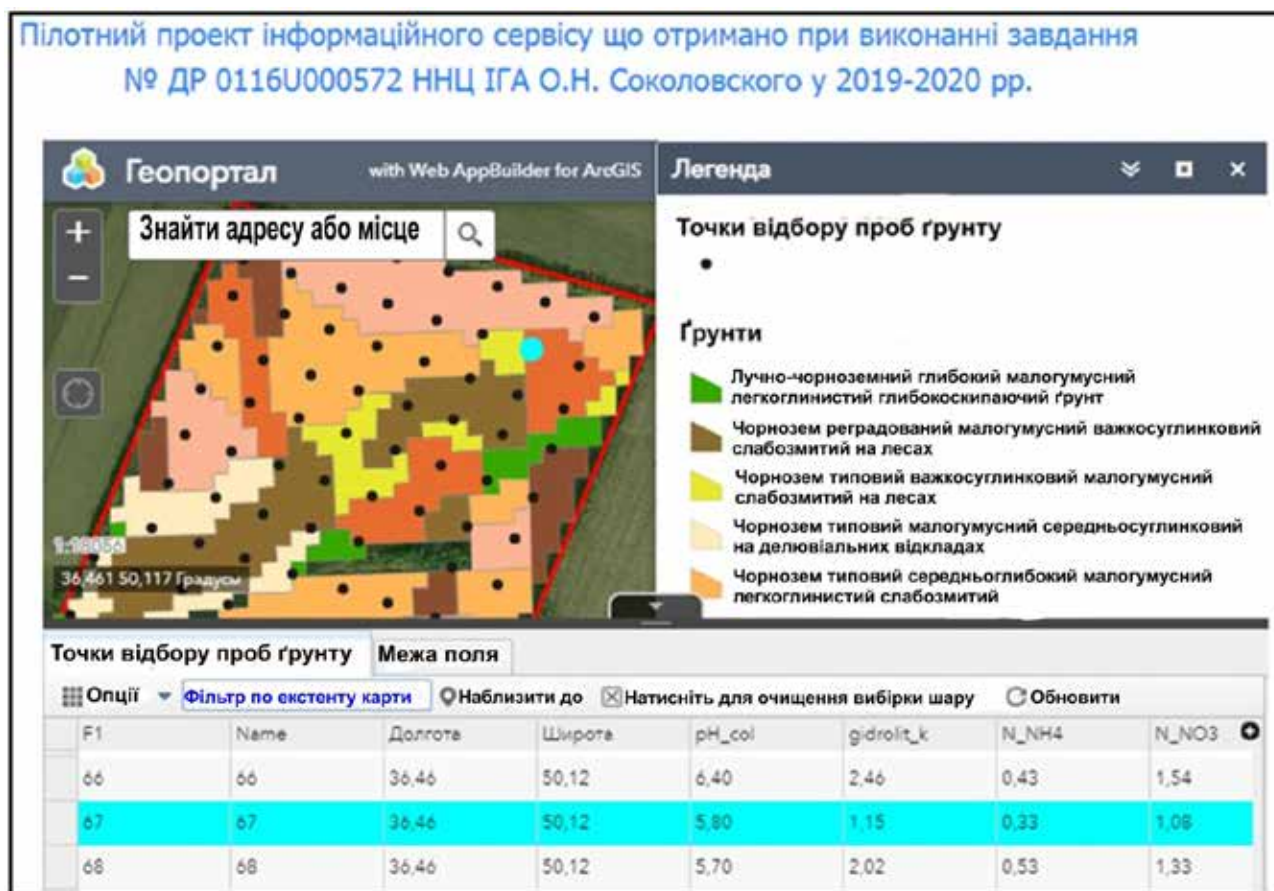


Рис. 4. Скріншот робочого вікна розробленого інформаційного сервісу для полігону «Тишки 1»

номний спосіб використання ArcGIS Server, що доречно для надання основних ресурсів в якості постачальника даних для землекористувачів. Скріншот робочого вікна розробленого інформаційного сервісу (рис. 4) дозволяє наочно продемонструвати простоту та зручність його використання для отримання та аналізу інформації щодо дослідних угідь для навіть не обізнаного в геоінформаційних технологіях користувача.

У цілому ж, представлення високоточних даних про якісний стан ґрунтів та ГП у вільному доступі здатне забезпечити необхідною інформацією не тільки проектування сучасних систем землекористування та визначення стану земельних та ґрунтових ресурсів, але й сприяє суспільному контролю громадськості за діяльністю землекористувачів та спеціалізованих установ, які є уповноваженими у сфері природо- та землекористування в Україні.

#### **Висновки**

Таким чином, шляхом аналізу світових тенденцій створення інформаційних систем раціонального природо- та землекористування обґрунтовано необхідність розробки практичної методології багаторівневої тематичної обробки даних БСКС високого просторового розрізнення для діагностики та параметризації латеральної неоднорідності ґрунтів та ГП для створення сучасної системи інформаційного забезпечення збалансованого землеробства в Україні.

Розроблено та апробовано методи сумісного аналізу космічного зображення ґрунтової поверхні та даних вибіркового наземного обстеження щодо верифікації та оцінювання результатів дешифрування даних БСКС високого просторового розрізнення для великомасштабних досліджень ГП та цифрового картографування локальних структур ГП як основи створення сучасної системи інформаційного забезпечення точного та збалансованого землеробства.

Опрацювання розроблених підходів до сумісного аналізу результатів класифікації космічного зображення та геостатистичного моделювання за даними наземного обстеження на полігоні «Тишки 1» доводить ефективність розробленої методології ґрунтового

дешифрування даних БСКС для визначення складових локальних структур ГП навіть на територіях поширення ґрунтів гумусово-аккумулятивного типу ґрунтоутворення, які мають найнижчі значення оптичних характеристик та є слабо контрастними в усіх діапазонах зйомки.

В умовах лісостепової зони України, для якої притаманним є чергування у просторі найнижчих таксономічних одиниць систематично близьких чорноземів, встановлено ефективність розроблених методичних підходів до дешифрування даних БСКС для визначення та кількісного опису виділів чорнозему типового, реградованого та лучно-чорноземного ґрунту з відмінами за загальним вмістом гумусу, гідролітичною кислотністю, вмістом ФГ та складовими мікроагрегатного складу.

За результатами геостатистичного експрес-аналізу даних точкового відбору проб за індексом Морана ( $I_M$ ) та його супутніми оцінками, встановлено, що результати класифікації даних БСКС коректно відображають просторову структуру мінливості ґрунтових властивостей в межах поверхневого шару.

За отриманими результатами апробовано підходи до створення інформаційних сервісів, здатних представити для широкого кола користувачів (землекористувачі, фахівці у сфері екології, охорони природи та ґрунтів, установ у сфері управління земельними та ґрунтовими ресурсами, громадськості) актуальну інформацію, високої точності про якісний стан ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення.

#### **Подяки**

Автори висловлюють щире подяку Геологічній службі США за можливість безкоштовного придбання даних Landsat 8, які було використано під час досліджень, співробітникам сектору дистанційного зондування ГП, лабораторії охорони ґрунтів від ерозії та лабораторії інструментальних методів аналізу ґрунтів ННЦ «ІА імені О.Н. Соколовського» за допомогу під час виконання польових, камеральних досліджень та аналітичних досліджень проб ґрунту, які складають експериментальну основу представленої роботи.

#### **Список використаної літератури**

Биндич Т.Ю. Багатоспектральне космічне сканування ґрунтового покриву в моніторингових дослідженнях: монографія. Київ: Аграрна наука, 2022. 144с.

Ґрунтові ресурси України: збалансоване використання, прогноз та управління: монографія. /за наук. ред. С.А. Балюка, М.М. Мірошниченка, Р.С. Трускавецького. Харків: ФОП Бровін О.В., 2020. 452 с.

Загальська О. Внесок дистанційного зондування Землі в Україні у розвиток ландшафтознавства. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2014. № 48. С. 3–11. [Електронний ресурс]. URL: <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/geography/article/view/1287> (дата звернення 22.07.2024).

Куценко М.В. Вступ до географічних інформаційних систем та моделювання стану довкілля. Харків : Екограф, 2008. 204 с.

Маринич О.М., Шищенко П.Г. Фізична географія України: Підручник. К.: Знання, 2005. 511 с.

Станкевич С.А., Козлова А.О. Методика оцінювання біорізноманіття території за багатоспектральними космічними зображеннями середньої просторової розрізненності. *Космічна наука і технологія*. 2007. Т. 13. № 4. С. 25–39. <https://doi.org/10.15407/knit2007.04.025>.

Трускавецький С.Р. та ін. Багатоспектральне космічне сканування в системі моніторингу ґрунтів: монографія. Харків : ФОП Бровін О.В., 2018. 280 с.

Architecting the ArcGIS System: Best Practices. 2023. [Електронний ресурс]. URL: <https://architecture.arcgis.com/assets/pdf/architecting-the-arcgis-system.pdf> (дата звернення 21.07.2024).

Applying Ecological Principles to Land Management / ed. by V.H. Dale, R.T.T. Forman, R.A. Naeuber. New York: Springer, 2001. 346 p. [Електронний ресурс]. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4613-0099-1> (дата звернення 05.07.2024).

Baruth B. et al. The use of remote sensing within the MARS crop yield monitoring system of the European Commission. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2008. Vol. 36. P. 935–941.

Dale V.H. et al. Ecological principles and guidelines for managing the use of lands: Report of the Ecological Society of America Committee on Land Use. *Ecological Applications*. 2000. Vol. 10. № 3. P. 639–670. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[0639:EPAGFM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[0639:EPAGFM]2.0.CO;2).

FAO. Report of the seconde meeting of the plenary assemble of the Global soil partnership plenary assembly. Second session Rome, 22–24 July 2014. Updated World Soil Charter (2014). [Електронний ресурс]. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e95df587-a8f2-45a9-8265-7894069b0a93/content> (дата звернення 12.12.2022).

IPBES. The IPBES assessment report on land degradation and restoration / ed. by L. Montanarella, R. Sholes, A. Brainich. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Service, Bonn, Germany. 2018. 744p. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3237392>.

King D., Jones R.J.A, Thomasson A.J. European Land Information Systems for Agro-environmental Monitoring. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Community, 1995a. 286 p.

King D. et al. The EU soil geographic database. *European Land Information Systems for Agro-environmental Monitoring*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Community. 1995b. P. 43–60.

Li H., Calder C.A., Cressie N. Beyond Moran's *I*: Testing for Spatial Dependence Based on the Spatial Autoregressive Model. *Geographical analysis*. 2007. Vol. 39. № 4. P. 357–375. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.2007.00708.x>.

Moran P.A.P. Notes on Continuous Stochastic Phenomena. *Biometrika*. 1950. Vol. 37. P. 17–23.

Report of the Conference of the Parties on its thirteenth session, held in Ordos, China, from 6 to 16 September 2017. Part two: Action taken by the Conference of the Parties at its thirteenth session. [Електронний ресурс]. URL: [https://www.unccd.int/sites/default/files/sessions/documents/2017-11/cop21add1\\_eng.pdf](https://www.unccd.int/sites/default/files/sessions/documents/2017-11/cop21add1_eng.pdf) (дата звернення 20.06.2024).

The thematic accuracy of CORINE Land Cover 2000. Assessment using LUCAS (landuse / cover area frame statistical survey). Techn. Rept EEA. 2006. № 7. 85 p. [Електронний ресурс]. URL: [https://www.eea.europa.eu/publications/technical\\_report\\_2006\\_7](https://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2006_7) (дата звернення 20.07.2024).

## References

Byndych, T.Yu. (2022). Bahatospektralne kosmichne skanuvannya gruntovoho pokryvu v monitorynhovykh doslidzhenniakh: monohrafiia [Multispectral space-based land cover scanning in monitoring studies: monograph]. Kyiv : Ahrarna nauka [in Ukrainian].

Gruntovi resursy Ukrainy: zbalansovane vykorystannia, prohnoz ta upravlinnia: monohrafiia (2020). [Soil resources of Ukraine: balanced use, forecast and management: monograph] / za nauk. red. S.A. Baliuka, M.M. Miroshnychenka, R.S. Truskavetskoho. Kharkiv: FOP Brovin O.V. [in Ukrainian].

Zahulska, O. (2014). Vnesok dystantsiinoho zonduvannia Zemli v Ukraini u rozvytok landshaftoznavstva [The contribution of remote sensing of the Earth to the development of landscape

science in Ukraine]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Serii heohrafichna [Bulletin of Lviv University. Geographical series]*, 48, 3–11. [Electronic resource]. URL: <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/geography/article/view/1287/1344> (access date 22.07.2024) [in Ukrainian].

Kutsenko, M.V. (2008). *Vstup do heohrafichnykh informatsiinykh system ta modeliuvannia stanu dovkillia [Introduction to geographic information systems and environmental modeling]*. Kharkiv : Ekohraf [in Ukrainian].

Marynych, O.M., & Shyshchenko, P.H. (2005). *Fyzychna heohrafia Ukrainy: Pidruchnyk [Physical geography of Ukraine: The Textbook]*. Kyiv : Znannia [in Ukrainian].

Stankevych, S.A., & Kozlova, A.O. (2007). *Metodyka otsiniuvannia bioriznomanittia terytorii za bahatospektralnyimi kosmichnyimi zobrazhenniamy serednoi prostorovoi rozriznennosti [Methodology for assessing the biodiversity of the territory using multispectral space images of medium spatial resolution]*. *Kosmichna nauka i tekhnolohiia [Space Science and Technology]*, 13 (4), 25–39. <https://doi.org/10.15407/knit2007.04.025> [in Ukrainian].

Truskavetskyi, S.R. et al. (2018). *Bahatospektralne kosmichne skanuvannia v systemi monitorynhu gruntiv: monohrafia [Multispectral space scanning in the soil monitoring system: monograph]*. Kharkiv : FOP Brovin O.V. [in Ukrainian].

Architecting the ArcGIS System: Best Practices (2023). [Electronic resource]. URL: <https://architecture.arcgis.com/assets/pdf/architecting-the-arcgis-system.pdf> (access date 21.07.2024) [in English].

Applying Ecological Principles to Land Management (2001) /ed. by V.H. Dale, R.T.T. Forman, R.A. Haeuber. New York: Springer. [Electronic resource]. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4613-0099-1> (access date 05.07.2024) [in English].

Baruth, B. et al. (2008). The use of remote sensing within the MARS crop yield monitoring system of the European Commission. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 36, 935–941 [in English].

Dale, V.H. et al. (2000). Ecological principles and guidelines for managing the use of lands: Report of the Ecological Society of America Committee on Land Use. *Ecological Applications*, 10 (3), 639–670. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[0639:EPAGFM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[0639:EPAGFM]2.0.CO;2) [in English].

FAO. Report of the seconde meeting of the plenary assemble of the Global soil partnership plenary assembly. Second session Rome, 22–24 July 2014. Updated World Soil Charter. (2014). [Electronic resource]. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e95df587-a8f2-45a9-8265-7894069b0a93/content> (access date 12.12.2021) [in English].

IPBES (2018). The IPBES assessment report on land degradation and restoration /ed. by L. Montanarella, R. Sholes, A. Brainich. Bonn : Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Service, Bonn, Germany. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3237392> [in English].

King, D., Jones, R.J.A., & Thomasson, A.J. (1995a). *European Land Information Systems for Agro-environmental Monitoring*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Community [in English].

King, D. et al. (1995b). The EU soil geographic database. *European Land Information Systems for Agro-environmental Monitoring*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Community. pp. 43–60 [in English].

Li, H., Calder, C.A., & Cressie, N. (2007). Beyond Moran's *I*: Testing for Spatial Dependence Based on the Spatial Autoregressive Model. *Geographical analysis*, 39 (4), 357–375. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.2007.00708.x> [in English].

Moran, P.A.P. (1950). Notes on Continuous Stochastic Phenomena. *Biometrika*, 37, 17–23 [in English].

Report of the Conference of the Parties on its thirteenth session, held in Ordos, China, from 6 to 16 September 2017. Part two: Action taken by the Conference of the Parties at its thirteenth session. [Electronic resource]. URL: [https://www.unccd.int/sites/default/files/sessions/documents/2017-11/cop21add1\\_eng.pdf](https://www.unccd.int/sites/default/files/sessions/documents/2017-11/cop21add1_eng.pdf) (access date 20.06.2024) [in English].

The thematic accuracy of CORINE Land Cover 2000. Assessment using LUCAS (landuse / cover area frame statistical survey). *Techn. Rept EEA*. 2006. № 7. 85 p. [Electronic resource]. URL: [https://www.eea.europa.eu/publications/technical\\_report\\_2006\\_7](https://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2006_7) (access date 20.07.2024) [in English].

Отримано: 26.07.2024

Прийнято: 14.08.2024



УДК 635.3;504

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.19>

## ДИВЕРСИФІКАЦІЯ ГОСПОДАРСТВ У НАПРЯМКУ ВИРОЩУВАННЯ НІШЕВИХ КУЛЬТУР – ЕЛЕМЕНТ СТРАТЕГІЇ АДАПТАЦІЇ ДО ЗМІН КЛІМАТУ

О. В. Василенко<sup>1</sup>, В. В. Фещенко<sup>2</sup>, О. П. Чубко<sup>3</sup>, Н. О. Гнатюк<sup>4</sup>

Диверсифікація сільського господарства вимагає впровадження системи ведення сільського господарства, яка передбачає зміну моделі посіву від традиційно вирощуваних культур до адаптованих. Одним зі способів адаптації господарств може стати вирощування нішевих культур. Тому метою досліджень було вивчення можливостей диверсифікації овочевих господарств в напрямку вирощування нішевих культур шляхом визначення особливостей формування продуктивності та пластичності їх сортів в умовах Лісостепу України. В межах поставленої мети досліджувались такі нішеві культури, як бамія, батат, чуфа і фізаліс.

Найвищими показниками урожайності рослин бамії їстівної характеризувався сорт Сопілка, де за в середньому за роки досліджень урожайність становила 8,5 т/га плодів. Згідно коефіцієнту фенотипової стабільності Левіса ( $K_{sf}$ ) найбільш стабільний показник урожайності бамії мали рослини сорту Юнона – 1,06. Серед рослин досліджуваних сортів найбільшу врожайність кореневих бульб батату отримано за вирощування рослин сорту Адмірал. Так, в середньому за роки досліджень урожайність рослин цього сорту склала 29,4 т/га. Проте рослини цього сорту були менш стабільними (коефіцієнт  $K_{sf}$  склав 1,04). Сортіві особливості рослин чуфи вплинули на рівні їх врожайності. В умовах центральної частини України рослини сорту Новинка були більш вро-

<sup>1</sup> кандидат сільськогосподарських наук, доцент,  
завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності  
(Уманський національний університет садівництва, м. Умань)  
e-mail: vsolga05@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-2584-810X

<sup>2</sup> кандидат сільськогосподарських наук, доцент,  
директор  
(ПП «ПОДІЛЛЯ-АГРОХІМСЕРВІС», м. Умань)  
e-mail: Feschenkov73@ukr.net  
ORCID: 0009-0001-2199-8565

<sup>3</sup> кандидат сільськогосподарських наук,  
заступник директора  
(ТОВ «Агротехносоюз», м. Київ)  
e-mail: docentne@ukr.net  
ORCID: 0009-0007-9331-1201

<sup>4</sup> кандидат сільськогосподарських наук, доцент,  
доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності  
(Уманський національний університет садівництва, м. Умань)  
e-mail: nat-gnatiuk@ukr.net  
ORCID: 0000-0002-4159-9924

жайними – середній за роки досліджень показник склав 4,9 т/га. Також був найвищим показник стабільності даного сорту (1,13). Потенціал врожайності фізалісу сорту Жаринка є найвищим в даному регіоні. Різниця показників середніх за роки досліджень рівнів склали 11,7 % із рослинами контрольного сорту Ліхтарик та 6,7 % із рослинами сорту Ананасовий. Рослини сортів Ліхтарик та Жаринка мали однаково високий коефіцієнт стабільності сорту – 1,03. Отже, велика роль у підвищенні врожайів нішевих культур належить такому фактору, як сорт. Це один із важливих факторів подальшої адаптації овочевих господарств до умов середовища, які постійно змінюються у зв'язку із потеплінням клімату.

**Ключові слова:** зміни клімату, адаптація, бамія, батат, чуфа, фізаліс.

## DIVERSIFICATION OF FARMS TOWARDS CULTIVATION OF NICHE CULTURES – ELEMENT OF CLIMATE CHANGE ADAPTATION STRATEGY

**O. V. Vasylenko, V. V. Feshchenko, O. P. Chubko, N. O. Hnatyuk**

*Diversification of agriculture farms the implementation of an agricultural management system, which involves changing the sowing pattern from traditionally grown crops to adapted ones. Growing niche crops can be one of the ways to adapt farms. Therefore, the purpose of the research was to study the possibilities of diversification of farms in the direction of growing niche crops by determining the features of the formation of productivity and plasticity of their varieties in the conditions of the forest-steppe of Ukraine. Within the scope of the goal, such niche vegetable crops as okra, sweet potato, chufa and physalis were studied. The Sopilka variety was characterized by the highest yields of edible okra plants, where the average yield over the years of research was 8.5 t/ha of fruits.*

*According to the coefficient of phenotypic stability of Lewis (Ksf), plants of the Juno variety had the most stable indicator of okra yield – 1.06. Among plants of the investigated varieties, the highest yield of sweet potato tubers was obtained when growing plants of the Admiral variety. So, on average, over the years of research, the yield of plants of this variety was 29.4 t/ha. However, plants of this variety were less stable (Ksf coefficient was 1.04). Varietal features of chufa plants affected their yield levels. In the conditions of the central part of Ukraine, plants of the Novinka variety were more productive the average figure over the years of research was 4.9 t/ha. The stability index of this variety was also the highest (1.13). The yield potential of physalis Zharinka variety is the highest in this region.*

*The differences in the average levels over the years of research were 11.7% with plants of the control variety Likhtaryk and 6.7% with plants of the Ananasovy variety. Plants of the Likhtaryk and Zharinka varieties had an equally high coefficient of stability of the variety – 1.03. So, a big role in increasing yields of niche crops belongs to such a factor as the choice of variety. This is one of the important factors in the further adaptation of vegetable crop rotations to environmental conditions, which are constantly changing due to climate warming.*

**Key words:** climate change, adaptation, okra, sweet potato, chufa, physalis.

### Вступ

Досягнення глобальної продовольчої безпеки залишається ключовим викликом для майбутнього людства, особливо враховуючи постійне зростання кількості населення на планеті та глобальні зміни клімату. Увага значною мірою зосереджена на інтенсифікації сільського господарства як механізмі збільшення виробництва, незважаючи на те, що відсутність продовольчої безпеки становить загрозу для навколишнього середовища та життя людей (Pawlak & Kołodziejczak, 2020). Наслідки такої інтенсифікації (надмірна розораність ґрунтів, дефіцитний баланс гумусу і поживних речовин) призвели до виникнення стійкої тенденції погіршення якості компонентів навколиш-

нього середовища. А глобальна зміна клімату посилює вже існуючі екологічні проблеми та ускладнює їхнє вирішення. Більшість посівних площ сільськогосподарських культур в Україні знаходяться в потенційній зоні ризикованого землеробства, де існують постійні ризики втрати обсягів урожаю у надто посушливий або надмірно дощовий рік (Hulme & Dessai, 2008; Іванюта та ін., 2020).

Зміни, пов'язані з кліматом, не лише суттєво вплинуть на схеми розподілу продуктів харчування, але й на їх якість. І це може викликати світові гуманітарні занепокоєння, оскільки продовольча безпека глибоко пов'язана зі здоров'ям населення (Агога, 2019). Продовольча та сільськогоспо-



дарська організація ООН (FAO) повідомляє, що рівень голоду у світі постійно зростає, а шлях досягнення цілей сталого розвитку до 2030 року не гарантує його викорінення. Таким чином, терміново необхідні дії для пом'якшення наслідків мінливості клімату та адаптації до них (FAO, 2009).

Цього можна досягти шляхом впровадження кліматично розумної системи сільського господарства, яка відповідає баченню FAO щодо цілей сталого розвитку продовольства та сільського господарства. З поміж іншого, вона включає в себе масштабування обсягів виробництва культур, які можуть витримувати різку ксерофітизацію умов середовища, де відсутність поливу різко обмежить врожайність культур (Sharma et al., 2015).

Крім того, доведено, що більш різноманітні агроєкосистеми будуть працювати краще сьогодні (за мінливих умов навколишнього середовища) через ширший діапазон функцій, а швидка реакція на зміни їх стабілізуватиме (Michler & Josephson, 2017).

У цьому процесі важливу роль відіграє диверсифікація в оптимізації виробництва, зокрема зміна культур в сівоzmінах (Shruti et al., 2017). Це також допоможе диверсифікувати продуктивний кошик і сприятиме експорту (Sidhu & Singh, 2009). Така диверсифікація сільського господарства вимагає впровадження системи ведення сільського господарства, яка передбачає зміну моделі посіву від традиційно вирощуваних культур до більш прибуткових та адаптованих.

Одним зі способів адаптації господарств до описаних змін може стати вирощування нішевих культур. Останнім часом найбільш прибутковим напрямом у цій сфері було вирощування певних овочевих культур. Це може забезпечити значну дохідність на невеликих ділянках. Такий вид діяльності є економічно обґрунтованим як для малих, так і для середніх аграрних виробників, які наразі страждають від низьких цін на товарну продукцію та проблем із логістикою при вирощуванні традиційних сільськогосподарських культур.

Таким чином, мета наших досліджень полягає у вивченні можливостей диверсифікації овочевих сівоzmінів в напрямку вирощування нішевих культур шляхом визначення особливостей формування продуктивності та пластичності їх сортів в умовах Лісостепу України.

## Матеріал і методи

У зв'язку із змінами клімату, нині з'явилася можливість культивувати в усіх зонах України теплолюбні культури, які раніше вважалися придатними для вирощування лише в південних регіонах. Тому в межах поставленої мети досліджувались такі нішеві культури, як бамія, батат, чуфа і фізаліс. Визначення продуктивності сортів даних культур вивчали у виробничому досліді, який проводили упродовж 2021–2023 років в навчальному виробничому відділі Уманського національного університету садівництва.

Дослідження проводили на ділянках, які характеризуються наступними показниками: ґрунт – чорнозем опідзолений, вміст гумусу в шарах 0–20 і 20–40 см відповідно 4,4 та 3,5%, вміст рухомих фосфатів складає 466 та 380 мг/кг, а калію – 271 та 133 мг/кг відповідно до вказаних шарів, реакція ґрунтового розчину – рН 6,7. Аналіз метеорологічних даних Уманської метеорологічної станції за роки досліджень показує, що середньорічна температура повітря поступово зростає і перевищує середні багаторічні значення на 2,6 °С.

Вирощування рослин здійснювалося згідно з рекомендаціями дослідної станції «Маяк» Інституту овочівництва і баштанництва НААН. Площа облікових ділянок становила 10 м<sup>2</sup>, досліді проводились у 4-х кратній повторності, із систематичним розміщенням варіантів. У досліді вирощувались такі сорти бамії: Діброва, Юнона та Сопілка; батату: Адмірал, Борекард та Слобожанський рубін; чуфи: Інгульський, Снігурівський, Новинка та Фараон; фізалісу: Ліхтарик, Ананасовий та Жаринка. Коефіцієнт фенотипової стабільності (Ksf) згідно Lewis D. визначали як відношення високого і низького значень показника врожайності. Чим більше цей коефіцієнт наближається до «1», тим стабільніша ознака (Сич, 2005). Найменшу істотну різницю (*НІР*) розраховували за Манько Ю.П. (Манько, 2013) за допомогою програмного забезпечення Excel.

## Результати та їх обговорення

Характеризуючи результати метеорологічних спостережень (отримані від метеорологічної станції «Умань» в Черкаській області) за роки проведення досліджень, можна зробити висновок, що середньорічна температура повітря перевищувала середні багаторічні показники на 0,1–2,0 °С. Відхилення від середньобагаторічних показників по

окремим місяцям років досліджень наведені на рис. 1.

Так, 2021 рік виявився роком, де відхилення температури від середніх багаторічних найбільші в критичні місяці вегетації сільськогосподарських культур – відхилення за червень та липень місяць становить 2,8 °C та 4,2 °C відповідно.

Характеризуючи умови зволоження (за даними метеорологічної станції «Умань» в Черкаській області), які визначаються кількістю опадів і рівномірністю їхнього випадання, слід зазначити, що закономірність їхнього розподілення загалом відповідала тенденціям змінам температурного режиму. Зокрема, у 2022 та 2023 роках кількість опадів у весняному періоді порівняно з багаторічною нормою була надмірною, проте вже з травня місяця і на початку літа ці показники зменшуються нижче середньо багаторічних (рис. 2). Найменше опадів спостерігалось у вересні 2021 року (відхилення від багаторічних значень становило 44,8 мм). При цьому найбільша їхня кількість, яка формувала умови, що істотно відрізняються від багаторічних, випала у квітні 2023 р. (відхилення від багаторічних значень становило 88,6 мм).

Отже, показники суми опадів упродовж вегетаційного періоду у роки досліджень свідчать про зменшення їхньої кількості та нестабільність надходження вологи в ґрунт.

Вибір сортів сільськогосподарських культур є ключовою стратегією адаптації для аграрних господарств, які стикаються зі зміною кліматичних умов.

Правильний вибір сорту є одним із найважливіших кроків, які може зробити виробник. Важливо присвятити деякий час вибору правильного сорту для відповідного середовища, оскільки це рішення є одним із перших кроків до максимізації врожаю.

Бамія їстівна (*Abelmoschus esculentus*) – тропічний однорічник з широким діапазоном адаптації, який вирощується в Україні як комерційна овочева рослина. Бамія є багатоцільовою культурою завдяки різноманітному використанню свіжого листя, бруньок, квіток, стручків, стебел і насіння (Mihretu et al., 2014). Ця рослина досить засухоустійка, в умовах порівняно високої вологості також може нормально розвиватись (Вдовенко та ін., 2022).

В результаті проведених досліджень районованих сортів бамії їстівної за роки досліджень можна зробити висновок, що погодні умови мали вплив на показник врожайності культури (рис. 3).

Найвищими показниками урожайності характеризувався сорт Сопілка, де за в середньому за роки досліджень урожайність становила 8,5 т/га плодів. Рослини сорту Діброва, який вибраний як контроль, мали найменшу врожайність серед досліджуваних варіантів – 7,2 т/га (на 18%

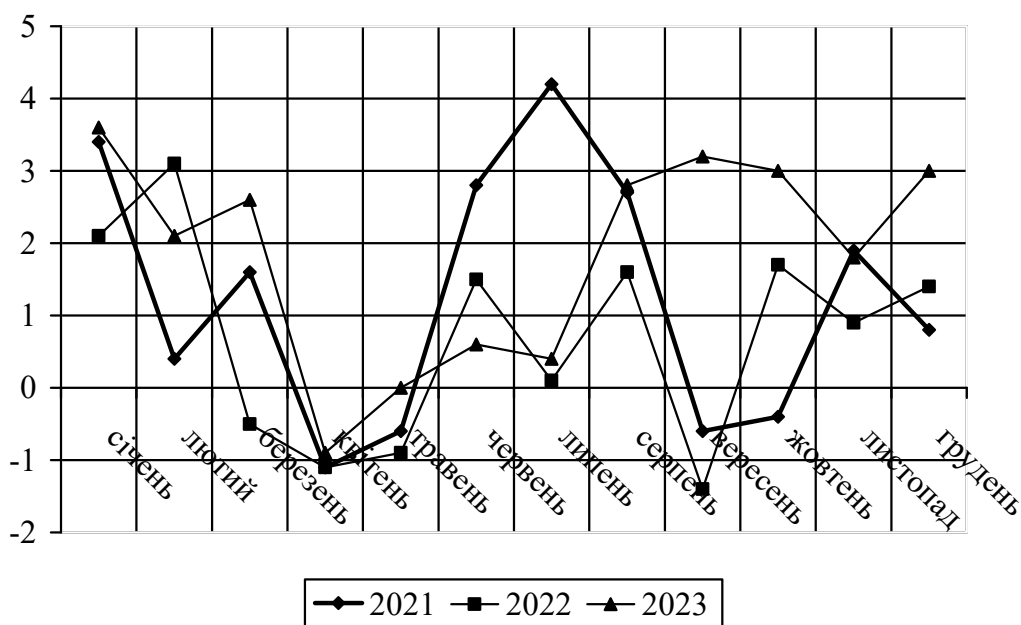


Рис. 1. Відхилення показників температури повітря у роки досліджень від середніх багаторічних, °C

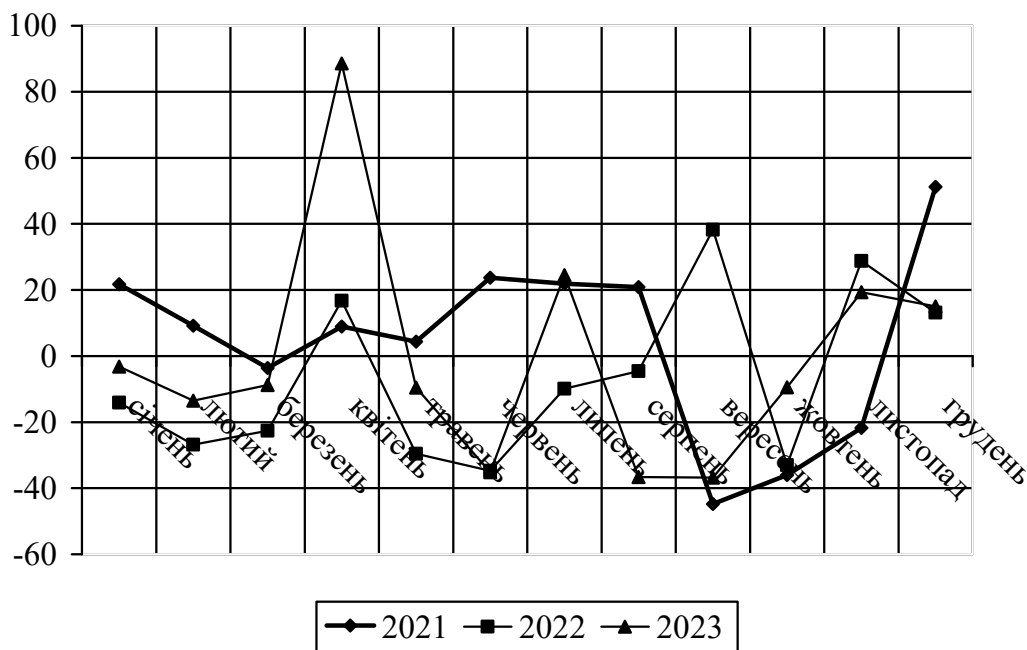


Рис. 2. Відхилення показників кількості опадів у роки досліджень від середніх багаторічних, мм

менше за рослини сорту Сопілка). Найменша істотна різниця по варіантам:  $НІР_{05}$  0,1 за 2021 р.,  $НІР_{05}$  0,2 за 2022 р. та  $НІР_{05}$  0,2 за 2023 р.

Згідно коефіцієнту фенотипової стабільності Левіса (Ksf) найбільш стабільний показник урожайності мали рослини сорту Юнона – 1,06. Найбільш нестабільним був сорт Сопілка, рослини якого дали найбільший урожай в середньому за роки досліджень.

Батат (*Ipomoea batatas* L.) – багаторічна засухоустійка трав'яниста рослина,

яку в Україні вирощують як однорічну культуру для отримання кореневих бульб. Продуктивну частину батату переробляють на цукор, крохмаль та алкогольні напої; виготовляють чіпси, пюре для дитячого харчування та цукати (Мозговська та ін., 2019; Vhuyan et al., 2022).

Серед рослин досліджуваних сортів найбільшу врожайність кореневих бульб батату отримано за вирощування рослин сорту Адмірал (рис. 4). Так, в середньому за роки досліджень урожайність рослин цього сорту складала 29,4 т/га, що на 11,4% більше

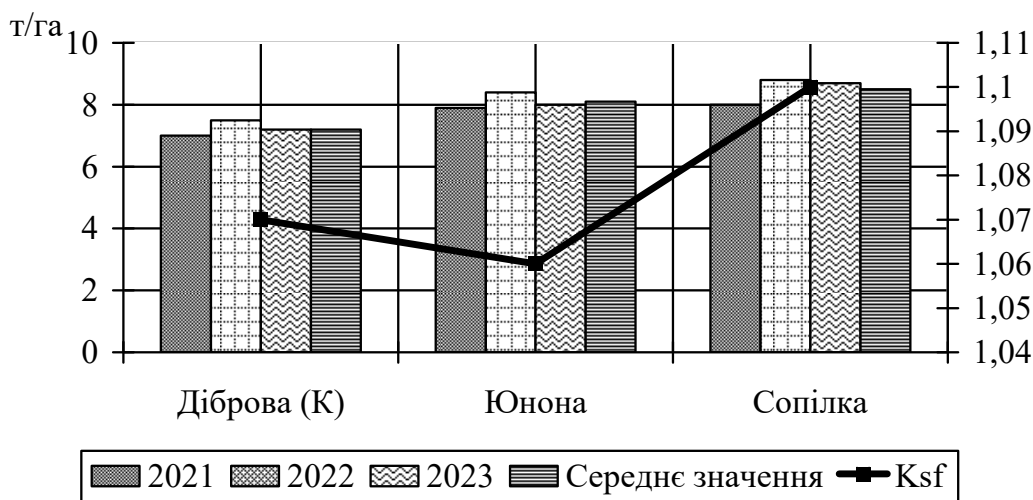


Рис. 3. Урожайність плодів бамії істівної залежно від сорту, т/га

ніж середній варіант врожайності рослин сорту Слобожанський рубін, що є контрольним варіантом дослідження. Рослини сортів Слобожанський рубін та Борегад мали різницю в середній врожайності на рівні 4,9%. Найменша істотна різниця по варіантам:  $НІР_{05}$  0,5 за 2021 р.,  $НІР_{05}$  0,12 за 2022 р. та  $НІР_{05}$  0,7 за 2023 р.

Якщо порівняти значення коефіцієнтів стабільності сортів згідно Левіса, то можна зробити висновок, що рослин серед сортів батату Слобожанський рубін та Борегад різниці згідно даного показника не спостерігалось. Рослини сорту Адмірал були менш стабільними (коефіцієнт  $K_{sf}$  склав 1,04).

Чуфа (*Cyperus esculentus*), смикавець їстівний, або земляний мигдаль вирощується в Україні ще з 18 століття. Це тепло- та вологовимоглива рослина, яка невибаглива до умов вирощування (Хареба та ін., 2016). Бульби чуфи містять до 28% жирів, а за своїм жирно-кислотним складом олія

з чуфи близька до оливкової (Codina-Torrella, 2015). Бульби споживають в різному вигляді: сирими, смаженими та звареними, також із них виготовляють цукор, крохмаль, борошно та спирт (Pascual et al., 2000).

Сортові особливості рослин чуфи вплинули на рівні їх врожайності. Контрольним сортом був обраний сорт Фараон виведений у 2009 році в Національному ботанічному саду ім. М.М. Гришка. В умовах центральної частини України в середньому за роки досліджень рослини даного сорту сформували досить високий рівень врожаю – 4,6 т/га (рис. 5). Найменша істотна різниця по варіантам:  $НІР_{05}$  0,12 за 2021 р.,  $НІР_{05}$  0,09 за 2022 р. та  $НІР_{05}$  0,04 за 2023 р. Рослини сорту Новинка були більш врожайними – середній за роки досліджень показник склав 4,9 т/га.

Рослини сортів Інгульський та Снігурівський сформували однакові середні врожаї на рівні 4,5 т/га. Проте показники коефіцієнту стабільності сортів були низь-

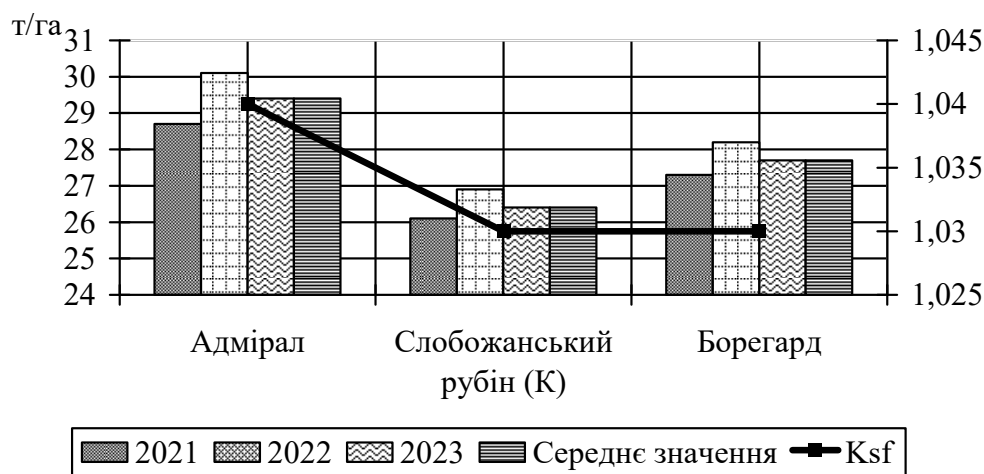


Рис. 4. Урожайність корених бульб батату залежно від сорту, т/га

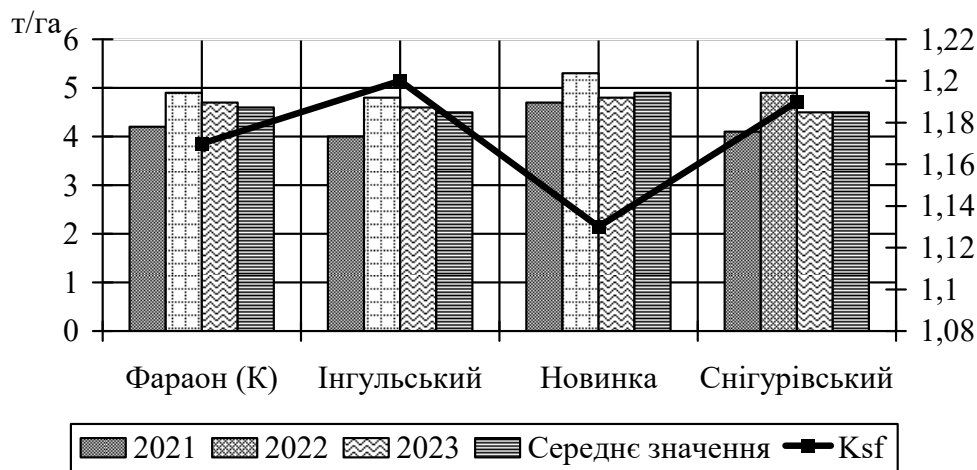


Рис. 5. Урожайність бульб чуфи залежно від сорту, т/га

кими. Найменш стабільним сортом виявився сорт Снігурівський (коефіцієнт Ksf склав 1,19). Отже, умови років вирощування суттєво вплинули на рівень врожайності.

Фізалис клейкоплодий (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Hornem) – однорічна рослина родини пасльонових, плоди якої за біохімічним складом та високою поживністю подібні до рослин інжиру, а за вмістом сухої речовини та цукру на 8,0% перевищують вміст цих речовин у перці солодкому та баклажанах. Плоди фізалису (ягоди солодкого, або кисло-солод-

кого смаку) в біологічній стиглості можуть вживатися як у свіжому, так і в переробленому вигляді. Використовуються ягоди і в сушеному вигляді в якості спецій до м'ясних страв (Вдовенко та ін., 2018).

Встановлено, що величина врожайності рослин фізалису суттєво залежала від сортових властивостей (рис. 6). Можна зробити висновок, що потенціал врожайності фізалису сорту Жаринка є найвищим. Різниця показників середніх за роки досліджень рівнів склали 11,7% із рослинами контрольного

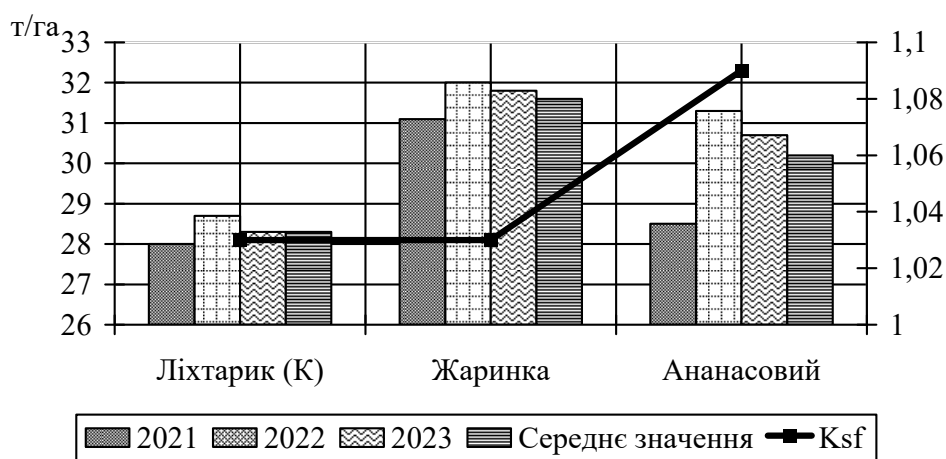


Рис. 6. Урожайність фізалису клейкоплодного залежно від сорту, т/га

сорта Ліхтарик та 6,7% із рослинами сорту Ананасовий. Найменша істотна різниця по варіантам:  $НІР_{05} 0,2$  за 2021 р.,  $НІР_{05} 0,8$  за 2022 р. та  $НІР_{05} 0,6$  за 2023 р.

Що стосується показника стабільності сорту, то сорти Ліхтарик та Жаринка мають однаковий коефіцієнт Ksf – 1,03, що характеризує їх як відносно стабільні. Гірший показник у рослин сорту Ананасовий – 1,09.

Отже, потенціал врожайності досліджуваних нішевих овочевих культур чутливий до умов навколишнього середовища, але адаптаційні можливості даних рослин дозволяють отримати високі їх врожаї в регіоні досліджень.

#### Висновки

Правильний вибір сорту таких нішевих культур, як бамія їстівна, батат, чуфа та фізалис, веде до максимізації врожаю. Так, в умовах Лісостепу України вирощу-

вання рослин бамії їстівної сорту Сопілка дозволило отримати найвищу врожайність, проте рослини даного сорту були найбільш нестабільними (показник Ksf 1,1). За вирощування кореневих бульб батату найвищу врожайність мали рослини сорту Адмірал, вони ж були менш стабільними (коефіцієнт Ksf склав 1,04). Сортові особливості рослин чуфи вплинули на їх врожайність – рослини сорту Новинка були більш врожайними і мали кращий рівень стабільності порівняно із рослинами інших варіантів дослідження. Потенціал врожайності в досліджуваному регіоні фізалису сорту Жаринка є найвищим.

Отже, велика роль у підвищенні врожаїв нішевих культур належить сорту. Це один із важливих факторів подальшої адаптації овочевих сівозмін господарств до умов середовища, які постійно змінюються у зв'язку із потеплінням клімату.

#### Список використаної літератури

Вдовенко С.А., Полутін О.О. Морфобіометричні особливості, урожайність і товарність плодів фізалису мексиканського в умовах відкритого ґрунту за використання мульчуючих матеріалів. *Вісник Уманського національного університету садівництва. Сер. Овочівництво*. 2018. № 1. С. 53–57.

- Вдовенко С.А., Хареба В.В., Паламарчук І.І., Хареба О.В., Унучко О.О. Бамія: біологія, технологія вирощування, переробка: Монографія. Вінниця : ВНАУ. Видавець ТОВ «Друк», 2022. 156 с.
- Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналіт. доповідь / [С.П. Іванюта, О.О. Коломієць, О.А. Малиновська, Л.М. Якушенко]; за ред. С. П. Іванюти. К.: НІСД, 2020. 110 с.
- Манько Ю.П. Аналіз методичного ресурсу для статистичної експертизи результатів багаторічних досліджень з агрономії. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Агрономія*. 2013. Вип. 183, ч. 2. С. 128–135.
- Мозговська Г.В., Івченко Т.В., Баштан Н.О., Мірошніченко Т.М. Інтродукція нової нішевої культури батату (*Ipomoea batatas* L.) в умовах Східного Лісостепу України. *Генетичні ресурси рослин*. 2019. № 25. С. 61–70.
- Сич З.Д. Властивості коефіцієнтів стабільності ознак и урожайності у динамічних рядах різної тривалості. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2005. № 2. С. 5–21.
- Хареба В.В., Улянич О.І., Ковтунюк З.І., Кецкало В.В., Хареба О.В., Філонова О.М. Малопоширені овочеві рослини. Ч. 2: навчальний посібник. К.: Аграр. наука, 2016. 192 с.
- Aroga Naveen Kumar. Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. *Environmental Sustainability*. 2019. № 2 (2). <https://doi.org/10.1007/s42398-019-00078-w>.
- Bernardo Pascual, J. Vicente Maroto, Salvador Lorenz Galarza et al. Chufa (*Cyperus esculentus* L. var. *sativus* Boeck.): An unconventional crop. studies related to applications and cultivation. *Economic Botany*. 2000. № 54 (4). P. 439–448.
- Bhuyan Sonia, Mishra Siddhanta, Mallick Samarendra, Biswal Sarita, Chauhan Vijay. Sweet Potato: Its Nutritional Factor and Health Benefits. *Biotica Research Today*. 2022. Vol 4:6. P. 450–452.
- Codina-Torrella I., Guamis B., Trujillo A.J. Characterization and comparison of tiger nuts (*Cyperus esculentus* L.) from different geographical origin: Physico-chemical characteristics and protein fractionation. *Industrial Crops and Products*. 2015. Vol. 65. P. 406–414.
- FAO «Enabling agriculture to contribute to climate change mitigation. A submission by the Food and Agriculture Organization to the UNFCCC». 2009. [Електронний ресурс]. URL: <http://unfccc.int/resource/docs/2008/smsn/igo/036.pdf>. (дата звернення 20.07.2024).
- Hulme M., Dessai S. Predicting, deciding, learning: can one evaluate the ‘success’ of climate scenarios? *Environmental Research Letters*. 2008. № 3. 045013. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/3/4/045013>.
- Michler Jeffrey D., Josephson Anna L. To Specialize or Diversify: Agricultural Diversity and Poverty Dynamics in Ethiopia. *World Development*. 2017. vol. 89(C). P. 214–226. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.08.011>.
- Mihretu Y., Wayessa G., Aduugna D. Multivariate Analysis among “Okra” (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) Collection in South Western Ethiopia. *Journal of Plant Sciences*. 2014. № 9 (2). P. 43–50.
- Pawlak Karolina, Kołodziejczak Małgorzata. The Role of Agriculture in Ensuring Food Security in Developing Countries: Considerations in the Context of the Problem of Sustainable Food Production. *Sustainability*. 2020. № 12 (13). P. 54–88. <https://doi.org/10.3390/su12135488>.
- Sharma P., Kausal A., Singh A., Garg S. Growth and yield attributes of Okra under influence of drip irrigation. *IJERA Journal*. 2015. № 6. P. 85–89.
- Shruti Mohapatra, Upasana Mohapatra, Raj Kishore Mishra. Diversification towards Vegetable Crops: A Good Option for Doubling the Farmer’s Income. *Journal of Experimental Agriculture International*. 2017. № 18 (4). P. 1–7. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2017/37379>.
- Sidhu Kiranjot, Singh Tarshem. Diversification through Vegetable Cultivation. *Journal of Life Sciences*. 2009. № 1. <https://doi.org/10.1080/09751270.2009.11885141>.

## References

- Vdovenko, S.A., & Polutin, O.O. (2018). Morfobiometrychni osoblyvosti, urozhajnistj i tovarnistj plodiv fizalisu meksykanskogho v umovakh vidkrytogho gruntu za vykorystannja muljchujuchykh materialiv [Morphobiometric features, yield and marketability of *Physalis mexicana* fruits in open ground with the use of mulching materials]. *Visnyk Umansjkogho nacionaljnogho universytetu sadivnyctva. Ser. Ovochivnyctvo [Bulletin of the Uman National University of Horticulture. Ser. Vegetable growing]*, 1, 53–57 [in Ukrainian].
- Vdovenko, S.A., Khareba, V.V., Palamarchuk, I.I., Khareba, O.V., & Unuchko, O.O. (2022). Bamiia: biolohiia, tekhnolohiia vyroshchuvannia, pererobka: Monohrafiia [Okra: biology, growing technology, processing: Monograph]. Vinnytsia : VNAU. Publisher of Druk LLC. 156 p. [in Ukrainian].

Ivanjuta, S.P., Kolomijecj, O.O., Malynovsjka, O.A., & Jakushenko, L.M. (2020). Zmina klimatu: naslidky ta zakhody adaptaciji: analit. dopovidj [Climate change: consequences and adaptation measures: analyt. report]. K. : NISD. 110 p. [in Ukrainian].

Manko, Yu.P. (2013). Analiz metodychnoho resursu dlja statystychnoi ekspertyzy rezultativ bahatorichnykh doslidzhen z ahronomii [Analysis of methodical resource for statistical examination of the results of long-term studies in agronomy]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Serii: Ahronomiia. [Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Series: Agronomy]*. Issue 183, part 2. P. 128–135 [in Ukrainian].

Mozghovsjka, Gh.V., Ivchenko, T.V., Bashtan, N.O., & Miroshnychenko, T.M. (2019). Introdukcija novoji nishevoji kuljтуры batatu (*Ipomoea batatas* l.) v umovakh Skhidnoho Lisostepu Ukrajinjy [Introduction of a new niche culture of sweet potato (*Ipomoea batatas* l.) in the conditions of the Eastern Forest Steppe of Ukraine]. *Ghenetychni resursy roslyn [Genetic resources of plants]*, 25, 61–70 [in Ukrainian].

Sych, Z.D. (2005). Vlastyvosti koeficijentiv stabilnosti oznak y urozhajnosti u dynamichnykh rjadakh riznoji tryvalosti [Properties of coefficients of stability of traits and productivity in dynamic series of different durations]. *Sortovyvchennja ta okhorona prav na sorty roslyn [Varietal research and protection of rights to plant varieties]*, 2, 5–21 [in Ukrainian].

Khareba, V.V., Ulyanich, O.I., Kovtunjuk, Z.I., Ketskalo, V.V., Khareba, O.V., & Filonova, O.M. (2016). Maloposhyreni ovochevi roslyny. Ch. 2: navchalnyi posibnyk [Uncommon vegetable plants. Part 2: study guide]. K. : Agrarian. science. 192 p. [in Ukrainian].

Arora, Naveen Kumar. (2019). Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. *Environmental Sustainability*, 2 (2). <https://doi.org/10.1007/s42398-019-00078-w> [in English].

Pascual, Bernardo, Maroto, J. Vicente, Galarza, & Salvador, Lorenz et al. (2000). Chufa (*Cyperus esculentus* L. var. sativus Boeck.): An unconventional crop. studies related to applications and cultivation. *Economic Botany*, 54 (4), 439–448 [in English].

Bhuyan, Sonia, Mishra, Siddhanta, Mallick, Samarendra, Biswal, Sarita, & Chauhan, Vijay. (2022). Sweet Potato: Its Nutritional Factor and Health Benefits. *Biotica Research Today*, Vol 4:6, 450–452 [in English].

Codina-Torrella, I., Guamis, B., & Trujillo, A.J. (2015). Characterization and comparison of tiger nuts (*Cyperus esculentus* L.) from different geographical origin: Physico-chemical characteristics and protein fractionation. *Industrial Crops and Products*, Vol. 65, 406–414 [in English].

FAO «Enabling agriculture to contribute to climate change mitigation. A submission by the Food and Agriculture Organization to the UNFCCC». 2009. [Electronic resource]. URL: <http://unfccc.int/resource/docs/2008/smsn/igo/036.pdf> (access date 20.07.2024) [in English].

Hulme, M., & Dessai, S. (2008). Predicting, deciding, learning: can one evaluate the ‘success’ of climate scenarios? *Environmental Research Letters*, 3, 045013. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/3/4/045013> [in English].

Michler, Jeffrey D., & Josephson, Anna L. (2017). To Specialize or Diversify: Agricultural Diversity and Poverty Dynamics in Ethiopia. *World Development*, vol. 89 (C), 214–226. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.08.011> [in English].

Mihretu, Y., Wayessa, G., & Adugna, D. (2014). Multivariate Analysis among “Okra” (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) Collection in South Western Ethiopia. *Journal of Plant Sciences*, 9 (2), 43–50 [in English].

Pawlak, Karolina, & Kołodziejczak, Małgorzata. (2020). The Role of Agriculture in Ensuring Food Security in Developing Countries: Considerations in the Context of the Problem of Sustainable Food Production. *Sustainability*, 12 (13). 54–88. <https://doi.org/10.3390/su12135488> [in English].

Sharma, P., Kausal, A., Singh, A., & Garg, S. (2015). Growth and yield attributes of Okra under influence of drip irrigation. *IJERA Journal*, 6, 85–89 [in English].

Shruti, Mohapatra, Upasana, Mohapatra, & Raj Kishore, Mishra. (2017). Diversification towards Vegetable Crops: A Good Option for Doubling the Farmer’s Income. *Journal of Experimental Agriculture International*, 18 (4), 1–7. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2017/37379> [in English].

Sidhu, Kiranjot, & Singh, Tarshem. (2009). Diversification through Vegetable Cultivation. *Journal of Life Sciences*, 1, <https://doi.org/10.1080/09751270.2009.11885141> [in English].

Отримано: 26.07.2024

Прийнято: 12.08.2024



УДК 632.92.632.25.633.16

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.20>

## ВПЛИВ БІОФУНГІЦИДІВ НА ФІТОСАНІТАРНИЙ СТАН НАСІННЯ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО

**О. А. Васильєв<sup>1</sup>, С. І. Бурикiна<sup>2</sup>, В. А. Руденко<sup>3</sup>, Н. І. Сауляк<sup>4</sup>, Н. В. Пиляк<sup>5</sup>**

*Вивчення ефективності біопрепаратів для передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур є актуальним, оскільки, знижуючи інфекційний фон, вони покращують стан рослин вже на початкових етапах росту при відсутності негативного впливу на довкілля. Метою досліджень було встановити ефективність біофунгіцидів за передпосівної обробки насіння ячменю ярого. Дослідження проводили в умовах лабораторного дослідження, використовували насіння середньостиглих сортів Вакула та Еней. Біофунгіциди: Вітастим БТ – основа міцеліального гриба *Trichoderma harzianum* Істокський (Т.н.) та двох штамів бактерій: *Pseudomonas fluorescens**

<sup>1</sup> кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, виконуючий обов'язки завідувача відділу фітопатології та ентомології (Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннезнавства та сортовивчення НААН, м. Одеса)

e-mail: alex.va7713@gmail.com

ORCID: 0000-0003-2070-565X

<sup>2</sup> кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, завідувачка відділу агрохімії, ґрунтознавства та органічного виробництва (Одеська державна сільськогосподарська дослідна станція Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, м. Одеса)

e-mail: burykina@ukr.net

ORCID: 0000-0002-5197-6586

<sup>3</sup> доктор філософії, науковий співробітник відділу агрохімії, ґрунтознавства та органічного виробництва

(Одеська державна сільськогосподарська дослідна станція Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, м. Одеса)

e-mail: slavik.deinos@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8651-7689

<sup>4</sup> молодший науковий співробітник відділу фітопатології та ентомології

(Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннезнавства та сортовивчення НААН, м. Одеса)

e-mail: nadjasauljak@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5164-1105

<sup>5</sup> завідувачка відділу промислової мікробіології

(Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» НААН України, смт Хлібодарське)

e-mail: nceb2017@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5074-4011



(P.f.2) і *Pseudomonas fluorescens* AP33 (P.f. AP33): Біогібервіт БТ – *Trichoderma viride* M-10 (T.v) та *Trichoderma harzianum* Істокський (T.h); Бакова суміш БТ – бактерії *Pseudomonas aureofaciens* шт. 111, променистий гриб *Streptomyces avermitilis* (S. a.); Вітастим БТ + Бакова суміш БТ у співвідношенні 1:1 та 1:2; Біогібервіт БТ+ Бакова суміш БТ у співвідношенні 1:1 та 1:2; Триходермін БТ – продуцент гриб-антагоніст *Trichoderma viride* (lignorum) та SmartGrow Biodoc – виготовлено на основі 4-х штамів *Bacillus subtilis*, *Trichoderma viride*- 5 маміс, *Trichoderma harzianum*- 2 штами, *Pseudomonas aureofaciens*, *Pseudomonas fluorescens*. Насіння обробляли 3%-ними розчинами препаратів. Визначення посівних якостей здійснювали методом пророщування у вологій камері в ростильнях на фільтрувальному папері за температури 20°C. Енергію проростання та інфікованість насіння визначали на четверту добу, лабораторну схожість – на сьому. Повторність в досліді 4-х кратна. Для визначення видового складу збудників використовували мікроскоп, а рїстрегулюючі властивості визначали біометричним методом.

В результаті проведених досліджень встановлено: на початкових етапах розвитку рослин ячменю ярого біофунгіциди виявили стимулюючий ефект: максимальне підвищення висоти проростків у 2,1–2,8 рази спостерігається при використанні 3% розчинів Біогібервіту БТ, Вітастиму БТ та композицій останнього з Баковою сумішшю БТ у співвідношенні 1:1 та 1:2; обробка насіння перед посівом препаратами з біофунгіцидною активністю підвищує лабораторну схожість на 2,2–8,0%; біопрепарати знизили розвиток грибної інфекції на 51,9–78,7% (Вітастим БТ), 68,9–81,3% (SG Biodoc), 74,0–75,4% (Бакова суміш БТ) та 86,9–95,5% (Біогібервіт БТ); при інфікованості насіння сорту Вакула – 30,5%, 52,5% припадало на *Alternaria* spp., 34,4% – *Bipolaris. sorokiniana*, 8,2% – *Fusarium* spp. та 4,9% – *Penicillium* spp.; найвищий захисний ефект дала передпосівна обробка насіння сорту Вакула 3% розчином Бакової суміші БТ, що на 100% припинило розвиток *Bipolaris. sorokiniana*, *Fusarium* spp. та *Penicillium* spp. і на 53,1% – *Alternaria* spp.; в структурі мікоцетної інфекції сорту Еней переважали гриби Мисор (79,3%), проти яких найбільш ефективним виявилось використання біофунгіцидів Біогібервіт БТ, Біогібервіт БТ + Бакова суміш БТ (1:2), Вітастим БТ + Бакова суміш БТ (1:2) та Триходермін БТ.

Отримані результати лабораторних досліджень мають практичну значущість, оскільки показали не тільки важливість передпосівної обробки насіння біопрепаратами фунгіцидної дії з метою підвищення їх посівних якостей, але й виявили найбільш ефективні в боротьбі проти грибної інфекції насіння ячменю ярого, причому в залежності від видового складу їх флори.

**Ключові слова:** біопрепарати, ячмінь, передпосівна обробка, насіння, патогени.

## THE EFFECT OF BIOFUNGICIDES ON THE PHYTOSANITARY CONDITION OF SPRING BARLEY SEEDS

O. A. Vasiliev, S. I. Burykina, V. A. Rudenko, N. I. Sauliak, N. V. Pyliak

The study of the effectiveness of biological preparations for the pre-sowing treatment of seeds of agricultural crops is relevant because, by reducing the infectious background, they improve the condition of plants already at the initial stages of growth in the absence of a negative impact on the environment. The aim of the research was to establish the effectiveness of biofungicides during the pre-sowing treatment of spring barley seeds. The research was carried out in the conditions of a laboratory experiment, using seeds of medium-ripe varieties Vakula and Enei. Biofungicides: Vitastim BT – the base of the mycelial fungus *Trichoderma harzianum* Istokskyi (T.h.) and two strains of bacteria: *Pseudomonas fluorescens* (P.f.2) and *Pseudomonas fluorescens* ARZZ (P.f. AP33); Biogibervit BT – *Trichoderma viride* M-10 (T.v) and *Trichoderma harzianum* Istokskyi (T. h); BT Tank mixture – *Pseudomonas aureofaciens* bacteria pcs. 111, the radiating fungus *Streptomyces avermitilis* (S. a.); Vitastim BT+ Tank mixture of BT in the ratio 1:1 and 1:2; Biohibervit BT+ Tank mixture of BT in the ratio 1:1 and 1:2; Trichodermin BT – a producer of *Trichoderma viride* (lignorum) antagonist fungus and SmartGrow Biodoc – is made on the basis of 4 strains of *Bacillus subtilis*, *Trichoderma viride*-5 маміс, *Trichoderma harzianum* – 2 strains, *Pseudomonas aureofaciens*, *Pseudomonas fluorescens*. The seeds were treated with 3% solutions of drugs. Determination of sowing qualities was carried out by the method of germination in a humid chamber in nurseries on filter paper at a temperature of 20°C. Germination energy and seed infectivity were determined on the fourth day, laboratory germination – on the seventh. The repetition in the experiment is 4 times. A microscope was used to determine the species composition of pathogens, and growth-regulating properties were determined by the biometric method.

As a result of the conducted research, it was established: at the initial stages of the development of spring barley plants, biofungicides showed a stimulating effect: the maximum increase in the height of seedlings by 2.1-2.8 times is observed when using 3% solutions of Biogibervit BT, Vitastim BT and compositions of the latter with BT tank mixture in ratios of 1:1 and 1:2; treatment

of seeds before sowing with drugs with biofungicidal activity increases laboratory similarity by 2.2...8.0%; biological preparations reduced the development of fungal infection by 51.9-78.7% (Vitastim BT), 68.9-81.3% (SG Biodoc), 74.0-75.4% (Bakov's mixture BT) and 86.9-95.5% (Biogibervit BT); with infection of seeds of the Vakula variety, 30.5%, 52.5% were *Alternaria* spp., 34.4% – *Bipolaris sorokiniana*, 8.2% – *Fusarium* spp. and 4.9% – *Penicillium* spp.; the highest protective effect on this variety was given by pre-sowing treatment of seeds with a 3% solution of BT tank mixture, which stopped the development of *Bipolaris sorokiniana*, *Fusarium* spp. by 100% and *Penicillium* spp. and 53.1% – *Alternaria* spp.; in the structure of the mycete infection of the Enei variety, *Mucor* fungi prevailed (79.3%), against which the use of biofungicides Biogibervit BT, Biogibervit BT + Tank mixture BT (1:2), Vitastim BT + Tank mixture BT (1:2) and Trichodermin BT proved to be the most effective.

The obtained results of laboratory studies are of practical significance, as they showed not only the importance of pre-sowing treatment of seeds with fungicidal biological preparations in order to increase their sowing qualities, but also revealed the most effective in the fight against fungal infection of spring barley seeds, depending on the species composition of their flora.

**Key words:** biological preparations, barley, pre-sowing treatment, seeds, pathogens.

### Вступ

Якість посівного матеріалу – перша ланка у забезпеченні здоров'я рослин і тому методам передпосівної обробки приділяється велика увага. Класичним прийомом оздоровлення насіння вважається використання хімічних протруювачів. Головні недоліки якого – негативний вплив на біоценоз ґрунту, забруднення ґрунту рештками хімічних препаратів, формування нових штамів збудників захворювань, які характеризуються більшою стійкістю та вірулентністю до основних діючих речовин фунгіцидів. Ці проблеми знімаються при застосуванні мікробних препаратів, які здатні обмежувати розвиток патогенів та позитивно впливати на стан рослин. Біопрепаратам не притаманні кумулятивні та канцерогенні дії, оскільки їх основою є мікроорганізми, які виділяються з природних об'єктів. Незважаючи на це, обсяги використання в Україні біологічних препаратів, зокрема біофунгіцидів, незначні (Ткаленко та ін., 2020). Актуальним завданням для науковців і практиків сільського господарства є дослідження ефективності біологічних фунгіцидів проти збудників хвороб зернових культур та впровадження їх у виробництво.

У виробництві зернових культур ячмінь займає друге місце і збільшення його валових зборів завжди буде першочерговим завданням аграріїв, особливо для зони Південного Степу України, яка відома як сприятливий регіон для отримання продукції високої якості. Для його вирощування доцільно використовувати ресурсозберігаючі елементи окремих ланок технології. Одним із таких заходів у організації системи захисту рослин є застосування біопрепаратів різного походження.

Біопрепарати використовуються і для передпосівної обробки зерна. Дослідами Радзиковської та інших (Radzikowska et al., 2020) показано, що обробка насіння сприяє зменшенню навантаження патогенами і тим самим покращує стан рослин на самих ранніх стадіях розвитку. Так Батуро (Baturо, 2009) показав, що препарати Біошікол 020 ПК і Біосепт 33 SL зменшили зараження зерна ярого ячменю збудниками *Bipolaris sorokiniana*, *Fusarium* spp. та *Drechslera teres*, проте ефективність Біосепт 33 SL була значно вищою. Обробка насіння біопрепаратами впливала на кількісний склад основних еколого-трофічних груп ґрунту в онтогенезі рослин ячменю ярого сортів Себастьян та Геліос: найменшою чисельністю патогенної мікобіоти характеризувався ґрунт, де використовували Вимпел 2 та суміші мультикомплексних препаратів Вимпел 2 + Оракул – тобто ризосферний ґрунт під посівом рослин ячменю ярого здатний утворювати мікробний комплекс, склад якого залежить від препарату (Beznosko et al., 2022).

При мікробному аналізі поверхні зернівок ячменю ярого (Rubin) після застосування біофунгіциду, що містить *Trichoderma harzianum* (Supresivit S2), було встановлено суттєве зменшення кількості мікотоксинів (Vozenflkova & Moudry, 2000)

Йде постійний пошук та вивчення можливостей нових штамів і видів мікроорганізмів. Так, дослідженнями Кириченко (Kyrychenko, 2014) обґрунтовано створення нового класу лектинобактеріальних композицій на основі фітолектинів і діазотрофних мікроорганізмів, а іншими дослідженнями (Burne et al., 2022) показано ефективність шести ізолятів молочнокислих бактерій,

які пригнічували спороношення *Fusarium culmorum* і штами *Fusarium graminearum* та можуть бути використані в системі захисту ярого ячменю.

Співробітниками відділу промислової мікробіології Інженерно-технологічного інституту «Біотехніка» НААН створено новий препарат фунгіцидно-інсектицидної дії під умовною назвою «Бакова суміш», встановити ефективність якого, поряд з іншими речовинами мікробіологічного походження, проти збудників хвороб ячменю ярого і було основною нашою метою. В представленому матеріалі показані результати першого етапу досліджень, який проходив в лабораторних умовах і мав за мету встановити ефективність біофунгіцидів у стримуванні розвитку інфекцій насіння ячменю ярого. В подальшому планується дослідити ефективність біопрепаратів при різних ступенях штучного зараження насіння ячменю ярого та в умовах польового досліду, де на їх дію і розвиток хвороб на рослинах можуть впливати патогени ґрунту, його поживний режим та погодні умови, що відмічалось науковцями (Korkhova et al., 2022; Skok et al., 2023; Vinyukov & Vyskub, 2024). За висновками He et al. (2021) саме біологічна обробка і є альтернативою стійкості рослин до хвороб, але для забезпечення впровадження цього підходу необхідна комплексна оцінка його переваг з точки зору вимог виробництва, довілля та конкретних ґрунтово-кліматичних умов.

### Матеріал і методи

Ефективність дії біофунгіцидів вивчали в умовах лабораторного досліду. Використовували насіння двох сортів ячменю ярого: Вакула та Еней (оригіна́тор – ННЦ «Селекційно-генетичний інститут»). *Вакула* – ячмінь звичайний ярий (*Hordeum vulgare* L.), різновидність *pallidum*, відзначається підвищеною адаптивністю до мінливих умов вирощування. Середньостиглий. Колос шестирядний. *Еней* – ячмінь звичайний ярий (*Hordeum vulgare* L.), різновидність *nutans*, посухостійкий, середньостиглий, колос дворядний.

**Біофунгіциди:** *Вітастим БТ* – одержаний в рідкому поживному середовищі при спільному глибинному культивуванні трьох штамів: міцеліального гриба *Trichoderma harzianum* Істокський (Т.н.) та двох штамів бактерій: *Pseudomonas fluorescens* (P.f.2) і *Pseudomonas fluorescens* AP33 (P.f. AP33). Водна суспензія комплексного препарату – це життєздатні мікроорганізми: P.f. 2, P.f. AP33, Т.н., продукти їх метаболізму та

залишки компонентів поживного середовища, не засвоєних продуцентами в процесі біосинтезу Вітастиму.

*БіоГібервіт БТ* – це водна суспензія коричневих відтінків, в якій присутні хламідоспори і вегетуючий міцелій, а також конідії міцеліальних грибів *Trichoderma viride* М-10 (Т.в) та *Trichoderma harzianum* Істокський (Т.н), а також метаболіти вищезазначених мікроорганізмів з залишками компонентів поживного середовища в культуральній рідині.

*Бакова суміш БТ* – комплекс із двох препаратів: препарату бінарної дії (інсекто-фунгіцид), діючим чинником якого є бактерії *Pseudomonas aureofaciens* ум. 111, що продукують біологічно-активні речовини із класу феназин-карбонових кислот та інші токсини з патогенною дією та біоінсектициду з живим діючим чинником – променистим грибом *Streptomyces avermitilis* (S. a.), який відносять до ґрунтових актиноміцетів, що здатний продукувати комплекс природних авермектинів з токсигенною дією.

*Триходермін БТ* – продуцент гриб-антагоніст *Trichoderma viride* (*lignorum*).

*SmartGrow Biodoc* – виготовлено на основі 4-х штамів *Bacillus subtilis*, *Trichoderma viride*-5 маміс, *Trichoderma harzianum*-2 штами, *Pseudomonas aureofaciens*, *Pseudomonas fluorescens*.

Передпосівну обробку насіння проводили обприскуванням 3%-ними розчинами біопрепаратів та їх сумішей. В контрольному варіанті насіння обробляли водою. Повторність в досліді – чотириохкратна.

Варіанти досліду: 1) контроль-на-насіння оброблено водою; 2) Вітастим БТ; 3) БіоГібервіт БТ; 4) Бакова суміш БТ; 5) Вітастим БТ+ Бакова суміш БТ(1:1); 6) Вітастим БТ+ Бакова суміш БТ(1:2); 7) БіоГібервіт БТ+ Бакова суміш БТ(1:1); 8) БіоГібервіт БТ+ Бакова суміш БТ(1:2); 9) Триходермін БТ; 10) SmartGrow Biodoc.

**Методика аналізування схожості насіння.** Якість насіння ячменю ярого досліджували й оцінювали у відповідності до ДСТУ 4138-2002 та ДСТУ 2240-93. Пророщування насіння проводили в ростильнях, де в якості субстрату для «підґрунтя» був зволожений фільтрувальний папір. По 100 насінин вручну розкладали на двох шарах зволоженого паперу. Зверху ростильні накривали скляними пластинами. Ячмінь пророщували в термостаті при температурі 20 °С. Енергія проростання визначалася на четверту добу, схожість – на сьому.

Схожість насіння визначалася кількістю насінин (у відсотках), здатних утворювати нормально розвинуті проростки за оптимальних умов пророщування. У насінні ячменю довжину проростка визначали біометричним методом за тією його частиною, що вийшла за межі квіткової луски. При вимірюванні довжини проростків не враховували аномальні проростки.

**Аналіз зараження насіння хворобами.** Зараженість насіння хворобами – це наявність на поверхні, всередині чи у міжнасінневому просторі життєздатних патогенів, які спричинили або здатні за сприятливих умов викликати ураження насіння, проростків і рослин хворобами з характерними симптомами.

Використовували біологічний метод для виявлення зовнішньої та внутрішньої зараженості насіння ячменю хворобами, який заснований на стимулюванні росту й розвитку патогенних мікроорганізмів під час пророщування насіння у вологій камері. При цьому бактеріальні хвороби виявляли за розм'якшенням і ослизлістю тканин насіння. Грибні хвороби – як плями різної форми і забарвленості, наліт грибниці, пікніди, потворність, деформація, відмирання частин проростків.

З середньої проби ячменю виділяли 4 повторення по 100 насінин. Для пророщування насіння у вологій камері використовували стерильні ростильні, накріті скляною накри-

вкою, на дно яких покладено два шари зволоженого фільтрувального паперу. Насіння розкладали на папері пінцетом на відстані 1–2 см одне від одного. Насіння аналізували на четверту добу від закладання у вологу камеру.

Заражене насіння розглядали під мікроскопом, підраховуючи у кожній пробі загальну кількість зараженого певними хворобами насіння, у тому числі і бактеріальними. За наявності на насінні та проростках одночасно двох і більше хвороб, зараженість кожної насінини обліковували за перевагою з ознак хвороб. Величину зараження насіння хворобою визначали як відношення кількості зараженого насіння до облікової, виражену у відсотках.

**Статистична обробка.** Експериментальні дані обробляли за допомогою прикладних програм математичної статистики Excel 2007 та Statistica 6 методами дисперсійного, кореляційного, регресійного та графічного аналізів.

#### Результати та їх обговорення

Результатом проведення першого етапу лабораторних досліджень стало визначення посівних якостей насіння ячменю ярого урожаю 2023 року. В середньому за сортами енергія проростання суттєво перевищувала контроль при використанні Біогібервіту БТ, сумішей препаратів та SG Biodoc, а схожість – за всіма варіантами передпосівної обробки (табл. 1).

Таблиця 1

Показники якості насіння за сортами ячменю ярого та варіантами передпосівної обробки

Варіант обробки насіння (фактор Б)	Енергія проростання	Схожість	ІП	Енергія проростання	Схожість	ІП	Енергія проростання	Схожість	ІП
	Вакула			Еней			Середнє за фактором Б		
	контроль	88,0	94,5	0,45	82,0	89,0	0,20	85,0	91,8
Вітастим БТ	84,5	99,0	0,97	87,0	97,0	0,56	85,8	98,0	0,77
Біогібервіт БТ	88,0	99,0	0,92	86,0	97,0	0,47	87,0	98,0	0,70
Бакова суміш БТ	89,0	99,5	0,85	82,0	98,0	0,61	85,5	98,8	0,73
В+БС 1:1	88,0	99,0	0,99	88,0	99,3	0,89	88,0	99,1	0,94
В+БС 1:2	88,0	99,0	0,89	86,0	95,0	0,53	87,0	97,0	0,71
БГ+БС 1:1	92,0	99,0	0,55	89,0	97,0	0,41	90,5	98,0	0,48
БГ+БС 1:2	88,0	95,0	0,59	88,0	95,0	0,40	88,0	95,0	0,49
Триходермін	83,0	97,0	0,63	85,5	94,5	0,43	84,3	95,8	0,53
SG Biodoc	91,5	94,5	0,59	87,0	93,0	0,48	89,3	93,8	0,54
НСР0,95	1,0	1,0	-	1,0	1,0	-	2,0	1,6	-

Примітка: ІП – індекс проростання; В+БС 1:1 – Вітастим БТ+ Бакова суміш БТ(1:1); В+БС 1:2 – Вітастим БТ+ Бакова суміш БТ(1:2); БГ+БС 1:1 – Біогібервіт БТ+ Бакова суміш БТ(1:1); БГ+БС 1:2 – Біогібервіт БТ+ Бакова суміш БТ(1:2); SG Biodoc – SmartGrow Biodoc.

У розрізі сортів, більш інформативним є показник індексу проростання, який на контролі був на рівні 0,45 (Вакула) та 0,20 (Еней), а за дослідними варіантами коливався в інтервалі 0,55–0,97 для сорту Вакула та 0,40–0,89 для сорту Еней.

Схожі результати з впливу біофунгіцидів на посівні якості насіння отримані й іншими авторами. У разі обробки насіння ячменю ярого біопрепаратами Екстрасол та Флавобактерин енергія проростання і схожість перевищували контрольний варіант на 2,4–3,9% та 3,7–8,2% (Тоуметов & Maryina-Chermnykh, 2020).

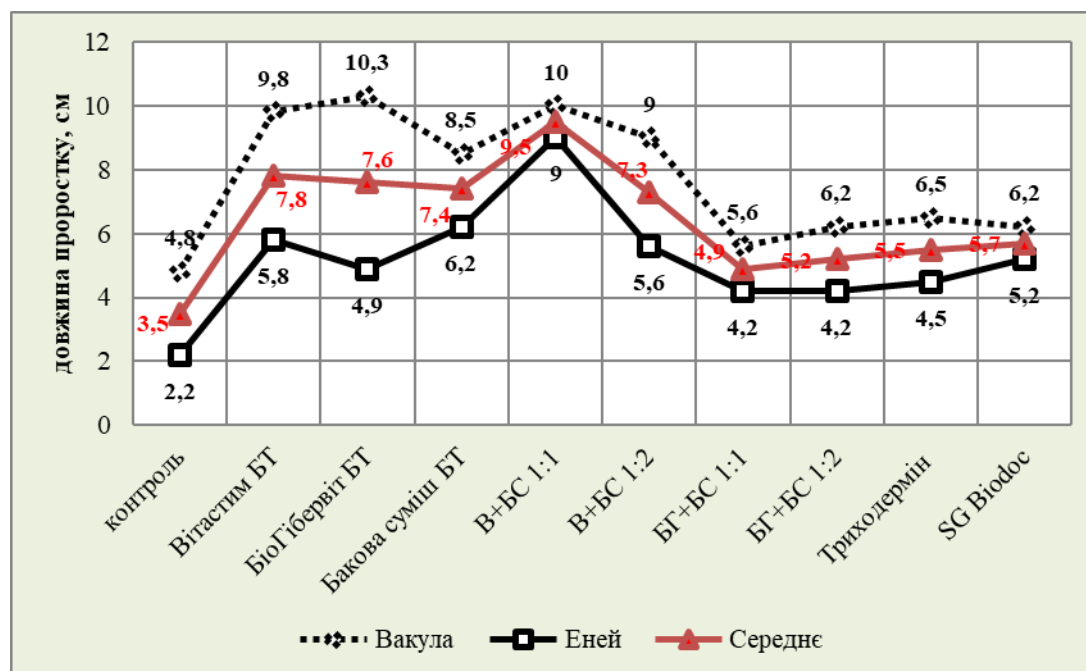
Результати біометричних вимірювань свідчать про наявність і ріст регулюючих властивостей біофунгіцидів. Так, максимальну висоту проростків сорту Вакула спостерігали при на двох варіантах: Біогібервіт БТ (10,3 см) та Вітастим + Бакова суміш 1:1 (10,0 см); на сорті Еней – Вітастим + Бакова суміш 1:1 (9,0 см) (рис. 1).

На інших варіантах обробки висота проростків була суттєво більша за контроль на 0,8–4,2 см (Вакула) та 2,0–4,0 см (Еней) при  $HCP_{AB} = 0,5$  см, а в середньому за сортами – достовірний приріст висоти проростків забезпечили препарати Вітастим БТ (+ 4,3 см), Біогібервіт БТ (+4,1 см), Бакова суміш БТ (+3,9 см) та Вітастим + Бакова суміш (+ 6,0см і + 3,8см) при  $HCP_B = 2,1$  см.

У середньому за сортами на варіантах використання Вітастиму БТ та Біогібервіту БТ висота проростків перевищувала контроль у 2,2 рази, а Вітастим БТ у композиції з Баковою сумішшю сприяв збільшенню висоти проростків у 2,1–2,8 рази, що залежало від об'ємної частки другого компоненту. Отже, на початкових етапах розвитку рослин ячменю ярого біофунгіциди виявили стимулюючий ефект.

Спостереження в умовах лабораторного досліду показали, що насіння ячменю обох сортів були носієм комплексу збудників грибної етіології, які могли проявитися на рослинах при оптимальних умовах для росту патогенів. Сумарна інфікованість насіння сорту Вакула складала 30,5%, з яких 52,5% – *Alternaria spp.*, 34,4% – *Bipolaris. sorokiniana*, 8,2% – *Fusarium spp.* та 4,9% – *Penicillium spp.* Передпосівна обробка насіння цього сорту 3% розчином Бакової суміші БТ повністю припинило розвиток *Bipolaris. sorokiniana*, *Fusarium spp.* та *Penicillium spp.* і на 53,1% – *Alternaria spp.* (табл. 2).

Практично аналогічним чином подіяла і композиція цього препарату з Біогібервітом БТ (1:1), а використання Біогібервіту БТ однокомпонентно зняло інфікованість *Bipolaris. sorokiniana* на 100%, *Fusarium spp.* та *Alternaria spp.* на 80%, а *Penicillium spp.* – на 66,7%. Загальна фун-



$HCP_{AB} = 0,5$  см;  $HCP_B = 2,1$  см

Рис. 1. Висота проростків за варіантами передпосівної обробки насіння

Таблиця 2

Фітосанітарний стан насіння ячменю ярого за варіантами біофунгіцидів

Варіант	Mucor	Bipolaris. sorokiniana	Fusarium spp.	Alternaria spp.	Penicillium spp.	Σ зараженість	Bipolaris. sorokiniana	Fusarium spp.	Alternaria spp.	Penicillium spp.
	Фактична наявність патогену, %						Зміни інфекційності (мінус % до контролю)			
<b>Вакула</b>										
контроль	0	10,5	2,5	16,0	1,5	30,5	-	-	-	-
Вітастим БТ	0	3,5	0,5	2,0	0,5	6,5	66,7	80,0	87,5	66,7
Біогібервіт БТ	0	0	0,5	3,0	0,5	4,0	100,0	80,0	81,2	66,7
Бакова суміш БТ	0	0	0	7,5	0	7,5	100,0	100,0	53,1	100,0
В+БС 1:1	0	4,0	1,0	10,0	0,8	15,8	61,9	60,0	37,5	46,7
В+БС 1:2	0	4,0	1,0	10,0	0,8	15,8	61,9	60,0	37,5	46,7
БГ+БС 1:1	0	0	0	10,0	0	10,0	100,0	100,0	37,5	100,0
БГ+БС 1:2	0	4,5	0,5	7,0	0	12,0	57,1	80,0	56,2	100,0
Триходермін БТ	0	6,0	1,5	14,0	0	21,5	42,9	40,0	12,5	100,0
SG Biodoc	0	0	0,5	4,5	0,7	5,7	100,0	80,0	71,9	53,4
<b>Еней</b>										
контроль	70	4,5	2,5	9,3	2,0	88,3	-	-	-	-
Вітастим БТ	40	0,5	0,5	0	1,5	42,5	88,9	80,0	100	25,0
Біогібервіт БТ	0	0	0	3,5	0,5	4,0	100,0	100,0	62,4	75,0
Бакова суміш БТ	20	0	0,5	2,5	0	23,0	100,0	80,0	73,1	100
В+БС 1:1	20	2,0	0,8	5,0	1,2	29,0	55,6	68,0	46,2	40,0
В+БС 1:2	0	1,0	0	0	1,2	2,2	77,8	100,0	100	40,0
БГ+БС 1:1	20	0	0	0,5	0	20,5	100,0	100,0	94,6	100
БГ+БС 1:2	0	2,1	0	1,0	0,2	3,3	53,4	100,0	89,2	90,0
Триходермін БТ	0	3,0	0,5	6,0	0,5	10,0	33,3	80,0	35,5	75,0
SG Biodoc	25	0	0	2,0	0,5	27,5	100,0	100,0	78,5	75,0
НСР <sub>AB</sub>	2,6	0,6	0,6	1,0	0,5	-	-	-	-	-

гіцидна активність біопрепаратів Вітастим БТ, Біогібервіт БТ, Бакова суміш БТ та SG Biodoc коливалася в діапазоні 75,4–86,9%. Найменший захисний ефект відзначили на варіанті Триходермін БТ (29,5%); композиції біофунгіцидів стримували розвиток патогенів в інтервалі 48,2–67,2 (рис. 2). Але при цьому Триходермін БТ і об'єднана дія Біогібервіту з Баковою сумішшю на 100% інгібувала розвиток *Penicillium spp.* (див. табл. 2).

Інфікованість насіння ячменю ярого сорту Еней складала 88,3%, з яких 79,3% припадало на гриби *Mucor*, 10,5% – *Alternaria spp.*, 5,1% – *Bipolaris. sorokiniana*, 2,8% – *Fusarium spp.* та 2,3% – *Penicillium spp.* Біопрепарати в різній мірі стримували мікоцетну інфекцію, яку спричиняв *Mucor*,

від 42,9% (Вітастим БТ), 64,3% SG Biodoc та інші – на 71,5–100,0% (рис. 3).

Максимальний захисний ефект (95,5–97,5%) отримано при обробці насіння сорту Еней препаратом Біогібервіт БТ і при спільному використанні Біогібервіту БТ та Вітастиму БТ з Баковою сумішшю у співвідношенні 1:2. Однокомпонентні обробки препаратами Вітастиму БТ, Біогібервіт БТ, Бакова суміш БТ та SG Biodoc проявили високу ефективність на рівні 80–100% щодо *Bipolaris. sorokiniana* та *Fusarium spp.* Інфікованість насіння сорту Еней *Alternaria spp.* на 90–100% стримували Вітастим БТ, Вітастим + Бакова суміш (1:1) та Біогібервіт + Бакова суміш (1:1, 1:2), а розвиток *Penicillium spp.* – Бакова суміш та його композиція з Біогібервітом (див. табл. 2).

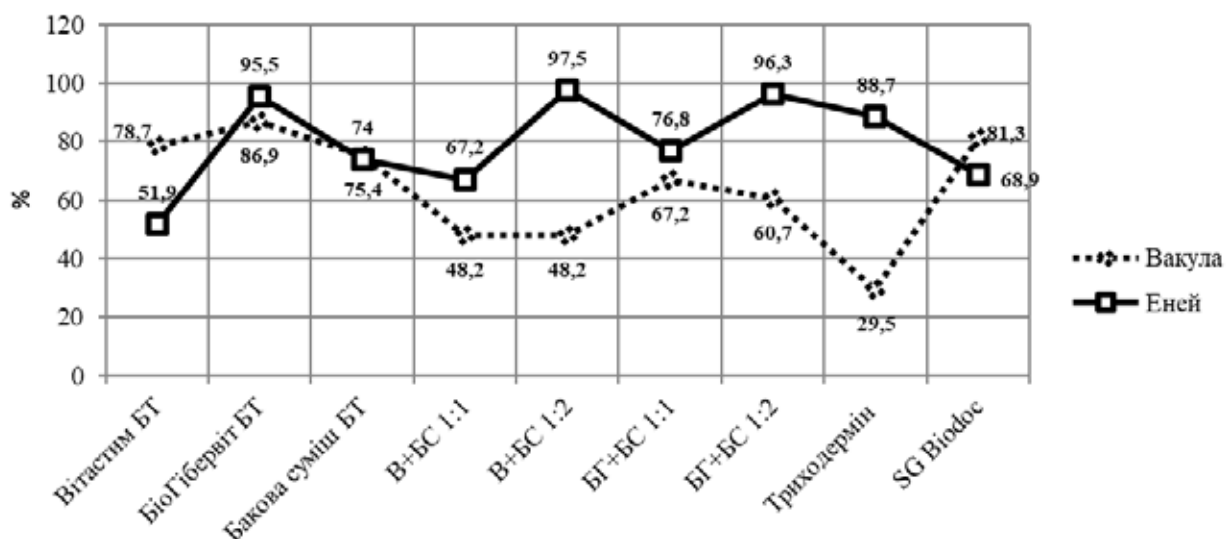


Рис. 2. Загальна фунгіцидна активність біопрепаратів

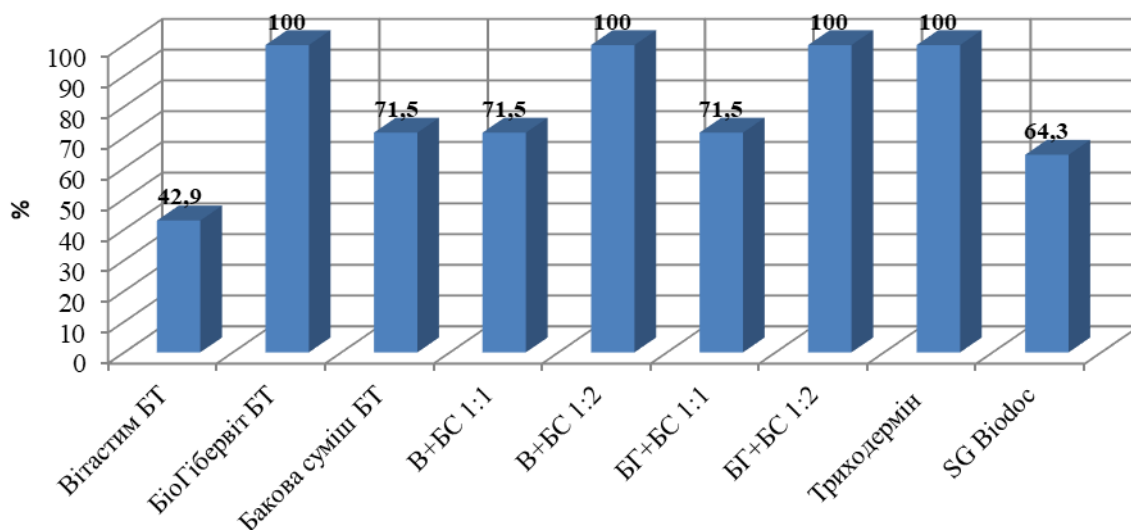


Рис. 3. Ефективність біофунгіцидів відносно інфекції, що спричинена *Mucor*

Результати представлених лабораторних досліджень співпадають з висновками інших авторів щодо видового складу збудників захворювань ячменю ярого. Так Д.Т. Гентош та Р.Б. Степанишина, проводячи мікологічний аналіз уражених рослин ячменю в різні фази розвитку, встановили, що серед патогенів переважну кількість складають представники родів *Fusarium spp.* (51,7%), *Bipolaris. Sorokiniana* (21,2%), *Alternaria spp.* (3,2%) (Гентош і Степанишина, 2022).

Перевагу грибних патогенів відзначали при дослідженні структури зараженості насіння інших сільськогосподарських культур. Прикладом, Г.Д. Поспелова із співавторами при вивченні впливу біопрепаратів на

фітосанітарний стан насіння сої показали, що відсоток насіння ураженого грибами складав 85,8% (від загальної кількості ураженого), серед яких визначено *Alternaria spp.* 17,1%, *Fusarium spp.* 2,2%, *Mucor sp.* 5,5% (Поспелова та ін., 2018). В їх же дослідках Триходермін зменшив прояв інфекції грибної етіології на 56,6%, а в модельно-вегетативному досліді А.В. Гетьман (Гетьман, 2024) – знизив поширення патогенів у 1,7–2,6 рази, у представлених результатах – на 29,5% (с. Вакула) та 88,7% (с. Еней).

#### Висновки

Таким чином, проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

– на початкових етапах розвитку рослин ячменю ярого біофунгіциди виявили

стимулюючий ефект: максимальне підвищення висоти проростків у 2,1–2,8 рази спостерігали при використанні 3% розчинів Біогібервіту БТ, Вітастиму БТ та композицій останнього з Баковою сумішшю БТ у співвідношенні 1:1 та 1:2;

– обробка насіння перед посівом препаратами з біофунгіцидною активністю позитивно впливає на його якість: лабораторна схожість підвищується на 2,2...8,0%;

– біопрепарати сприяли підвищенню стійкості насіння до ураження фітопатогенних мікроорганізмів, знижуючи розвиток грибною інфекцією на 51,9–78,7% (Вітастим БТ), 68,9–81,3% (SG Biodoc), 74,0–75,4% (Бакова суміш БТ) та 86,9–95,5% (Біогібервіт БТ);

– за інфікованості насіння сорту Вакула 30,5%, 52,5% припадало на *Alternaria spp.*, 34,4% – *Bipolaris. sorokiniana*, 8,2% – *Fusarium spp.* та 4,9% – *Penicillium spp.*; найвищий захисний ефект на цьому сорті дала передпосівна обробка насіння 3% розчином Бакової суміші БТ, що на 100% припинило

розвиток *Bipolaris.sorokiniana*, *Fusarium spp.* та *Penicillium spp.* і на 53,1% – *Alternaria spp.*;

– в структурі мікоцетної інфекції сорту Еней переважали гриби *Mucor* (79.3%), проти яких найбільш ефективним виявилось використання біофунгіцидів Біогібервіт БТ, Біогібервіт БТ + Бакова суміш БТ (1:2), Вітастим БТ + Бакова суміш БТ (1:2) та Триходермін БТ.

Отримані результати лабораторних досліджень мають практичну значимість, оскільки показали не тільки важливість передпосівного обробітку насіння біопрепаратами фунгіцидної дії з метою підвищення їх посівних якостей, але й виявили найбільш ефективні в боротьбі проти грибною інфекцією насіння ячменю ярого, причому в залежності від видового складу їх флори.

Перспективи подальших досліджень: дослідити ефективність біопрепаратів в умовах польового досліду та модельних при різних ступенях штучного зараження насіння ячменю ярого.

### Список використаної літератури

Гентош Г.Д., Степанишина Р.Б. Видовий склад збудників кореневих гнилей ячменю ярого. Збірник тез Міжнародної науково-практичної онлайн конференції, присвяченої 60-річчю спеціальності «Захист і карантин рослин» «Інноваційні технології в захисті рослин за умов глобалізації». Київ, 2022. С. 47–48.

Гетьман Я.В. Вплив хімічних і біологічних протруйників на поширення кореневих гнилей і урожайності ячменю ярого. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія» і «Біологія»*. 2024. Випуск 1 (55). С. 56–62. <https://doi.org/10.32782/agrobio.2024.1.8>.

Насіння сільськогосподарських культур. Сортові та посівні якості. Технічні умови: ДСТУ 2240-93 [Чинний від 1994-07-01]. Київ : Держстандарт України, 1994. 73 с.

Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості: ДСТУ 4138-2002 [Чинний від 2004-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 173 с.

Поспелова Г.Д., Бараболя О.В., Морозова О.О. Вплив біологічних препаратів на фітосанітарний стан насіння сої. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. № 4. С. 37–42. <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.04.05>.

Ткаленко Г.М., Борзих О.І., Ігнат В.В. Сучасний стан застосування засобів захисту рослин в агроценозах України. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 12 (813). С. 18–25. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202012-03>.

Baturo A. Effect of biopreparations on the health of grain of spring barley (*Hordeum Vulgare*) in organic system. *Phytopathologia*. The Polish Phytopathological Society, Poznań, 2009. № 53. 19–30.

Beznosko I., Gorgan T., Mosiychuk I. The number of microorganisms of individual ecological and trophic groups in the rhizosphere soil of spring barley plants, depending on the introduction of biological preparations. *Education and science of today: intersectoral issues and development of sciences*. 2022. <https://doi.org/10.36074/logos-09.12.2022.18>.

Byrne M.B., Thapa G., Doohan F.M., Burke J.I. Lactic Acid Bacteria as Potential Biocontrol Agents for Fusarium Head Blight Disease of Spring Barley. *Frontiers in Microbiology*. 2022. № 13. 912632. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.912632>.

He D.-C., He M.-H., Amalin D.M., Liu W., Alvindia D.G., Zhan J. Biological control of plants diseases: An Evolutionary and Eco-Economic Consideration. *Pathogens*. 2021. 10. 1311. <https://doi.org/10.3390/pathogens10101311>.

Korkhova M., Markova N.V., Panfilova A.V. The influence of moistening conditions and seed treatment with biological preparations on the growth and yield of winter wheat variet-



ies. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2022. Ò. Vol. 18. № 3. 201–208. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.18.3.2022.269001>.

Kyrychenko E.V. Phytolectins and diazotrophs are the polyfunctional components of the complex biological compositions. *Biotechnologia Acta*. 2014. Vol. 7. № 1. P. 40–53. <https://doi.org/10.15407/biotech7.01.040>.

Radzikowska D., Grzanka M., Kowalczewski P.I., Glowicka-Woloszyn R., Blecharczyk A., Nowicki M., Sawinska Z. Influence of SDHI seed treatment on the physiological conditions of spring barley seedlings under drought stress. *Agronomy*. 2020. № 10. 731. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050731>.

Skok S., Breus D., Almashova V. Assessment of the Effect of Biological Growth-Regulating Preparations on the Yield of Agricultural Crops under the Conditions of Steppe Zone. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. № 24 (7). P. 135–144. <https://doi.org/10.12911/22998993/163494>.

Toymetov M.E., Maryina-Chermnykh O.G. Influence of biological drugs on phytosanitary condition of seeds of spring barley. *IOP Conference series Earth and Environmental science*. January 2020. № 421 (2). 022063. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/2/022063>.

Vinyukov O., Vyskub R. Application of ecologically safe protection of grain ear crops when growing them in the conditions of the eastern part of the Northern Steppe of Ukraine. In book: *Traditional and innovative Scientific research: domestic and foreign experiment*. 2024. P. 117–144. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-436-8-6>.

Vozenfkova B., Moudry J. Microbial analysis of naked oats and spring barley caryopses. *Collection of Scientific Papers, Faculty of Agriculture in Ceske Budejovice Series for Crop Sciences*. 2000. № 17 (1). P. 25–29.

## References

Gentosh, G.D., & Stepanyshina, R.B. (2022). Vydovyy sklad zbudnykiv korenykh hnyley yachmenyu yaroho [Species composition of causative agents of spring barley root rot]. Zbirnyk tez Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi onlayn konferentsiyi, prysvyachenoyi 60-richchyu spetsial'nosti "Zakhyst i karantyn roslyn" "Innovatsiyi tekhnolohiyi v zakhysti roslyn za umov hlobalizatsiyi" [Collection of theses of the International scientific and practical online conference dedicated to the 60th anniversary of the specialty "Protection and Quarantine of Plants" "Innovative Technologies in Plant Protection under Globalization"]. Kyiv, 47–48 [in Ukrainian].

Hetman, Ya.V. (2024). Vplyv khimichnykh i biolohichnykh protruynykiv na poshyrennya korenykh hnyley i urozhaynist' yachmenyu yaroho [The effect of chemical and biological protectants on the spread of rots causes and the yield of spring barley]. *Visnyk Sums'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu. Seriya «Ahronomiya» i «Biolohiya» [Bulletin of the Sumy National Agrarian University. "Agronomy" and "Biology" series]*, 1 (55), 56–62. <https://doi.org/10.32782/agrobio.2024.1.8> [in Ukrainian].

Nasinnya sil'skohospodars'kykh kul'tur. Sortovi ta posivni yakosti. Tekhnichni umovy (1994). [Seeds of agricultural crops. Varietal and sowing qualities. Technical conditions:]. DSTU 2240-93 [Chynnyy vid 1994-07-01]. Kyiv : Derzhstandart Ukrayiny, 73 p. [in Ukrainian].

Nasinnya sil'skohospodars'kykh kul'tur. Metody vyznachennya yakosti (2003). [Seeds of agricultural crops. Quality determination methods]. DSTU 4138-2002 [Chynnyy vid 2004-01-01]. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrayiny, 173 p. [in Ukrainian].

Pospelova, G.D., Barabolia, O.V., & Morozova, O.O. (2018). Vplyv biolohichnykh preparativ na fitosanitarnyy stan nasinnya soyi [Influence of biological preparations on the phytosanitary state of soybean seeds]. *Visnyk Poltav'skoyi derzhavnoyi ahrarnoyi akademiyi [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy]*, 4, 37–42. <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.04.05> [in Ukrainian].

Tkalenko, H., Borzykh, O., & Ihnat, V. (2020). Suchasnyy stan zastosuvannya zasobiv zakhystu roslyn v ahrotsenozakh Ukrayiny [The current state of application of biological plant protection agents in agrocenosis of Ukraine]. *Visnyk ahrarnoyi nauky [Bulletin of Agrarian Science]*, 12 (813), 18–25. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202012-03> [in Ukrainian].

Baturo, A. (2009). Effect of biopreparations on the health of grain of spring barley (*Hordeum Vulgare*) in organic system. *Phytopathologia*. The Polish Phytopathological Society, Poznań. 53, 19–30 [in English].

Beznosko, I., Gorgan, T., & Mosiychuk, I. (2022). The number of microorganisms of individual ecological and trophic groups in the rhizosphere soil of spring barley plants, depending on the intro-

duction of biological preparations. *Education and science of today: intersectoral issues and development of sciences-2022*. <https://doi.org/10.36074/logos-09.12.2022.18> [in English].

Byrne, M.B., Thapa, G., Doohan F.M., & Burke, J.I. (2022). Lactic Acid Bacteria as Potential Biocontrol Agents for Fusarium Head Blight Disease of Spring Barley. *Frontiers in Microbiology*, 13, 912632. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.912632> [in English].

He, D.-C., He, M.-H., Amalin, D.M., Liu, W., Alvindia, D.G., & Zhan, J. (2021). Biological control of plants diseases: An Evolutionary and Eco-Economic Consideration. *Pathogens*. 10, 1311. <https://doi.org/10.3390/pathogens10101311> [in English].

Korkhova, M., Markova, N.V., & Panfilova, A.V. (2022). The influence of moistening conditions and seed treatment with biological preparations on the growth and yield of winter wheat varieties. *Plant Varieties Studying and Protection*, Vol. 18, 3, 201–208. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.18.3.2022.269001> [in English].

Kyrychenko, E.V. (2014). Phytolectins and diazotrophs are the polyfunctional components of the complex biological compositions. *Biotechnologia Acta*, 7 (1), 40–53. <https://doi.org/10.15407/biotech7.01.040> [in English].

Radzikowska, D., Grzanka, M., Kowalczewski, P.I., Glowicka-Woloszyn, R., Blecharczyk, A., Nowicki, M., & Sawinska, Z. (2020). Influence of SDHI seed treatment on the physiological conditions of spring barley seedlings under drought stress. *Agronomy*, 10, 731. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050731> [in English].

Skok, S., Breus, D., & Almashova, V. (2023). Assessment of the Effect of Biological Growth-Regulating Preparations on the Yield of Agricultural Crops under the Conditions of Steppe Zone. *Journal of Ecological Engineering*. 24 (7), 135–144. <https://doi.org/10.12911/22998993/163494> [in English].

Toymetov, M.E., & Maryina-Chermnykh, O.G. (2020). Influence of biological drugs on phytosanitary condition of seeds of spring barley. *IOP Conference series Earth and Environmental science*. January 2020. 421 (2), 022063. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/2/022063> [in English].

Vinyukov, O., & Vyskub, R. (2024). Application of ecologically safe protection of grain ear crops when growing them in the conditions of the eastern part of the Northern Steppe of Ukraine. In book: *Traditional and innovative Scientific research: domestic and foreign experiment*, 117–144. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-436-8-6> [in English].

Vozenflkova, B., & Moudry, J. (2000). Microbial analysis of naked oats and spring barley caryopses. *Collection of Scientific Papers, Faculty of Agriculture in Ceske Budejovice Series for Crop Sciences*, 17 (1), 25–29 [in English].

Отримано: 25.07.2024

Прийнято: 31.07.2024



УДК 633.111.5

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.21>

## ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ СТРОКІВ СІВБИ ПШЕНИЦІ ТУРАНСЬКОЇ (*TRITICUM TURANICUM* JAKUBZ.) В УМОВАХ СХІДНОЇ ЧАСТИНИ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

О. О. Вінюков<sup>1</sup>, О. М. Бутенко<sup>2</sup>, О. Б. Бондарева<sup>3</sup>, Р. С. Вискуб<sup>4</sup>

Цікавість споживачів до пшениці туранської пов'язана з тим, що вона, за хімічним складом, більш корисна за традиційні види пшениці. Вона має високу стійкість до спеки та атмосферної посухи, однак майже нестійка до ґрунтової посухи. Масове поширення цієї нової для України культури стримує відсутність агротехнологічних прийомів її вирощування, які б сприяли формуванню рослинами високої продуктивності в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах. Мета досліджень полягала у визначенні оптимальних строків сівби пшениці туранської в посушливих умовах східної частини Північного Степу України. Дослідження проводились у польовій сівозміні Донецької державної сільськогосподарської дослідної станції НААН України протягом 2021–2023 рр. Для сівби використовували сорт пшениці туранської Сармат (ПУ № 230611 від 25.10.2023 р.). Методи дослідження: польовий, лабораторний, математично-статистичний. Для вирішення поставленої задачі були вибрані наступні строки сівби: 15 березня, 1 квітня, 15 квітня. Встановлено, що найбільшу висоту рослини формували за перших двох строків сівби (15.03 та 1.04), що перевищує рослини останнього строку сівби за цим показником на 3 см.

<sup>1</sup> доктор сільськогосподарських наук, професор, в.о. директора  
(Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція Національної академії аграрних наук України, м. Покровськ)

e-mail: alex.agronomist@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2957-5487

<sup>2</sup> молодший науковий співробітник

(Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція Національної академії аграрних наук України, м. Покровськ)

e-mail: butenko\_a@ukr.net

ORCID: 0009-0003-2054-665X

<sup>3</sup> кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
учений секретар

(Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція Національної академії аграрних наук України, м. Покровськ)

e-mail: olbraun58dds@ukr.net

ORCID: 0000-0002-8128-8485

<sup>4</sup> кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник

(Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція Національної академії аграрних наук України, м. Покровськ)

e-mail: vuskyb@ukr.net

ORCID: 0000-0001-7679-2188

Найбільшими коефіцієнти загального та продуктивного кушіння були за першого строку сівби – 1,04 та 1,0 відповідно, найменші (0,99 та 0,97) – за останнього. Вплив строків сівби пшениці туранської на проходження початкових етапів органогенезу позначився і на формування рослинами показників структури врожаю. Перший термін сівби 15 березня забезпечив найбільшу довжину колосу (5,9 см), найбільшу кількість зерен у колосі (17 шт) та масу 1000 зерен (52,34 г), дозволив отримати найвищу продуктивність рослин – 2,9 т/га. Це свідчить, що висівання пшениці туранської у максимально ранні строки сприяє запобіганню впливу таких факторів, як повітряна і ґрунтова посухи, які є характерними для умов східної частини Північного Степу України. Доведено, що затримка з терміном сівби на місяць знижує врожайність цієї культури на 6,9%.

**Ключові слова:** пшениця туранська, термін сівби, біометричні показники, показники структури урожаю, урожайність.

## DETERMINATION OF THE OPTIMAL SOWING DATES OF TURANIAN WHEAT (*TRITICUM TURANICUM* JAKUBZ.) IN THE CONDITIONS OF THE EASTERN PART OF THE NORTHERN STEPPE OF UKRAINE

O. O. Vinyukov, O. M. Butenko, O. B. Bondareva, R. S. Vyskub

Consumers are interested in Turanian wheat because its chemical composition is more beneficial than traditional wheat. It is highly resistant to heat and atmospheric drought, but almost unstable to soil drought. The massive spread of this new crop for Ukraine is hampered by the lack of agrotechnological methods of growing it, which would contribute to the formation of high productivity plants in specific soil and climatic conditions. The purpose of the research was to determine the optimal sowing times of Turanian wheat in the arid conditions of the eastern part of the Northern Steppe of Ukraine. The research was conducted in the field crop rotation of the Donetsk State Agricultural Research Station of the National Academy of Sciences of Ukraine during 2021–2023. Turanian wheat of the Sarmat variety (PU No 230611 dated 10/25/2023) was used for sowing. Research methods: field, laboratory, mathematical and statistical. To solve the task, the following sowing dates were chosen: March 15, April 1, April 15. It was established that the highest height of the plant was formed in the first two sowing dates (15.03 and 1.04), which exceeds the plants of the last sowing period in this indicator by 3 cm. The highest coefficients of general and productive tillering were in the first term of sowing – 1,04 and 1,0 respectively, the smallest (0,99 and 0,97) are for the latter. The influence of the terms of sowing of Turanian wheat on the passage of the initial stages of organogenesis also affected the formation of indicators of the crop structure by the plants. The first sowing date on March 15 provided the largest ear length (5,9 cm), the largest number of grains in an ear (17 pcs.) and the weight of 1000 grains (52,34 g), allowed to obtain the highest plant productivity – 2,9 t/ha. This shows that sowing Turanian wheat as early as possible helps to prevent the influence of such factors as air and soil drought, which are typical for the conditions of the eastern part of the Northern Steppe of Ukraine. It has been proven that a delay in sowing for a month reduces the yield of this crop by 6,9%.

**Key words:** Turanian wheat, sowing date, biometric indicators, indicators of crop structure, productivity.

### Вступ

Популяризація «здорового харчування» останніми роками підвищила цікавість споживачів до дикорослих та стародавніх видів злакових культур. Аналіз результатів іноземних та вітчизняних наукових публікацій свідчать, що *Triticum turanicum* Jakubz. (*T. turgidum* subsp. *turanicum* (Jakubz.) Á. Löve & D. Löve, 2n = 4x = 28, AABB) – вид генетично близький до пшениці твердої (Laddomada et al., 2017). Посіви *T. turanicum* зустрічаються рідко, найбільш поширені вони в Ірані, Турції, Сирії, Афганістані, Узбекистані, Туркменістані, Казахстані. Ця пшениця є екотипом оазисного зрошувального землеробства регіонів. Вид *T. turanicum*

характеризується високою стійкістю до спеки та атмосферної посухи, однак нестійкий до ґрунтової посухи (Rodríguez-Quijano et al., 2010; Laidò et al., 2013; Господаренко та ін., 2016).

Зерно пшениці туранської багате на клітковину, магній і селен, а також антиоксиданти. Пшениця поживна і має більше корисних властивостей, ніж традиційні види. Харчові волокна (dietary fiber) є одними з найважливіших класів сполук у зернових та мають позитивний вплив на здоров'я. У цілому зерно пшениці містить 11,5–15,5% загальної харчової клітковини, головними компонентами якої є компоненти клітинної стінки: полісахариди арабі-

ноксилан (5,5–7,4%), целюлоза (1,67–3,05%) і  $\beta$ -глюкани (0,51–0,96%). Вміст арабіноксилану коливається від 1,4% до 2,2%, а у її висівках – (6,1–14,4%) (Galterio et al., 2003; Ward et al., 2008).

За різними даними вміст загальної амілози в «диких» пшеницях варіює від 19,4% до 26,3% (Bhuvaneshwari et al., 2001; Brandolini et al., 2008). Також повідомлялося, що низька засвоюваність крохмалю пов'язана з високим ступенем кристалічності та більш жорсткою архітектонікою гранул крохмалю (Mohan et al., 2006). Така властивість обумовлює придатність до споживання людьми, хворими на цукровий діабет другого типу та тими, хто страждає від надмірної ваги (Bhuvaneshwari et al., 2003; Gebruers et al., 2008).

Масове поширення пшениці туранської стримує відсутність чітких агротехнологічних прийомів її вирощування. Актуальними залишаються питання з визначення технологічних операцій, які б сприяли формуванню рослинами високої продуктивності.

У Донецькій державній сільськогосподарській дослідній станції НААН України (ДДСДС НААН) була розпочата селекційна робота з пшеницею туранською (*Triticum turanicum* Jakubcz.), і у 2023 році були отримані два патенти на сорти цієї культури Сармат (ПУ № 230611 від 25.10.2023 р.) та Пектораль (ПУ № 230612 від 25.10.2023 р.).

Пошук інформації в іноземних та вітчизняних наукових джерелах не дозволив нам знайти свідчення, щодо досліджень направлених на встановлення оптимальних строків сівби пшениці туранської в умовах гострої посухи. Так, як цей вид пшениці має генетичну подібність до пшениці твердої (*Triticum durum*), то й наші пошуки звелись до аналізу літературних джерел, які демонструють дослідження реакції рослин пшениці твердої на строки сівби.

Науковцями встановлено, що сума середньодобових температур вище +5 °С за період вегетації культури має складати 560–580 °С (Коренев, 1967). Саме від цього показника їй потрібно відштовхуватись для вибору оптимального строку сівби. Багаторічні дослідження строків сівби пшениці твердої ярої в різних ґрунтово-кліматичних умовах стверджують перевагу ранніх посівів. Перш за все це пов'язано з умовами зволоження ґрунту, які забезпечують швидкий початок онтогенезу, що, в свою чергу, сприяє забезпеченню вологою рослини на початкових етапах їх розвитку (Бараболя, 2008).

Не менш важливе значення для початкових етапів органогенезу пшениці ярої має і температура ґрунту. Дослідники зазначають, що розвиток рослин прискорюється при зниженні температури на початку вегетації, особливо це позначається на кореневій системі, яка за температури ґрунту 6–8 °С розвивається більш інтенсивно (Андрійченко, 2006).

Однак, окремі науковці в своїх працях відмічають, що строки сівби значно залежать від ґрунтово-кліматичної зони вирощування культури. Так, в зонах Лісостепу і Полісся існують два зовсім протилежних погляди. Вважається, що в зоні Лісостепу кращими є ранні строки сівби, при настанні фізичної стиглості ґрунту (Антал, 2011; Манько та ін., 2012). В Поліссі кращі результати були отримані за сівби у більш пізні терміни, зокрема, у першій декаді квітня (Рожков, 2012; Каленська та ін., 2015; Усов і Манько, 2015). У зоні Степу найвищу продуктивність рослин забезпечувала сівба в «лютневі вікна» або на початку березня (Базалій та ін., 2016).

Донецька область розташована в східній частині Північного Степу України і за кліматичними умовами належить до зони ризикованого нестійкого землеробства (Науково-обґрунтована ..., 2007). Більшість території має високий рівень теплозабезпечення і недостатнє зволоження. Недобір опадів, як правило, супроводжується значним перевищенням середньодобових температур повітря до багаторічних в критичні періоди розвитку сільськогосподарських культур. В період активної вегетації кількість опадів складає 290–320 мм, сума активних температур повітря – 3000–3200 °С, гідротермічний коефіцієнт – 0,9. У посушливі роки дефіцит вологи перевищує багаторічний показник майже в 2 рази. Характерним є нерівномірний розподіл опадів, особливо в період формування і наливу зерна.

Мета досліджень полягали у визначенні оптимальних строків сівби пшениці туранської в умовах східної частини Північного Степу України.

Завданнями дослідження передбачалося вивчення впливу різних строків сівби на біометричні показники пшениці туранської та формування рослинами показників структури врожаю.

#### **Матеріал і методи**

Дослідження виконувались у польовій сівозміні ДДСДС НААН у 2021–2023 рр. Повторність у дослідах –

триразова. Розміщення ділянок – систематичне. Площа облікової ділянки – 25 м<sup>2</sup>.

Ґрунт – чорнозем звичайний малогумусний, важкосуглинковий. Вміст гумусу – 4,9%, рН – слабо лужна, близька до нейтральної, вміст загальних форм азоту – 0,22, фосфору – 0,14%.

Попередник – соняшник. Сівбу здійснювали самохідною сівалкою СПС-7. Спосіб сівби – суцільний рядковий, із шириною міжрядь 15 см. Глибина загортання насіння в ґрунт 5–6 см.

Застосовувалась рекомендована зональна технологія вирощування ярих зернових культур. Сорт пшениці туранської – Сармат.

Основний метод досліджень – польовий, який доповнювався аналітичними дослідженнями, вимірами, підрахунками і спостереженнями відповідно до загальноприйнятих методик та методичних рекомендацій у рослинництві (Методологія ..., 2010). Статистична оцінка виконана із застосуванням ППП «ОСГЕ».

#### Результати та їх обговорення

Строки сівби відіграють значну роль у фізіологічних процесах рослин. Вони впливають на їх здатність пристосовуватись до негативних біотичних та абіотичних факторів, сприяють формуванню кореневої, вегетативної та генеративної систем. Для вирішення поставленої задачі за аналізом літературних джерел щодо досліджень строків сівби пшениці твердої ярої були вибрані наступні строки сівби: 15 березня, 1 квітня, 15 квітня.

Вплив строку сівби на біометричні показники пшениці туранської наведені у таблиці 1.

Найбільшу висоту рослини пшениці туранської сорту Сармат сформували за перших двох строків сівби (15.03 та 1.04). За цим показником вони перевищували рослини останнього строку на 3 см.

Щодо коефіцієнтів загального та продуктивного кущіння, то нами була встановлена динаміка зниження цих показників із затримкою у сівбі. Найбільшими коефіцієнти кущіння були за першого строку – 1,04 та 1,0, відповідно. При сівбі 1 квітня відмічалось зниження цих показників на 0,03 та 0,02 відповідно. Останній строк сівби (15.04) сприяв формуванню коефіцієнтів кущіння, які поступалися першому строку сівби на 0,05 та 0,03 відповідно.

Вплив строків сівби на рослини пшениці туранської на проходження початкових етапів органогенезу відбився і на значеннях показників структури врожаю (табл. 2).

Аналіз показників структури врожаю демонструє зниження за всіма показниками відповідно до затримки з терміном сівби. Найбільша довжина колосу була сформована за першого строку сівби (5,9 см), за останнього строку цей показник знизився на 0,4 см.

Щодо кількості зерен у колосі, то найбільша їх кількість також формувалась за першого строку сівби (17 шт). Проте, на другому місці виявилися рослини третього строку сівби, поступившись на 1 шт.

Таблиця 1

Вплив строків сівби на біометричні показники рослин пшениці туранської сорту Сармат у фазі повної стиглості, 2021–2023 рр.

Строк сівби	Висота, см	Кількість стебел, шт/м <sup>2</sup>		Коефіцієнт кущіння	
		загал.	прод.	загал.	прод.
15.03	123	415	397	1,04	1,0
1.04	123	404	390	1,01	0,98
15.04	120	395	388	0,99	0,97

Таблиця 2

Вплив строків сівби на показники структури врожаю та врожайність зерна пшениці туранської сорту Сармат, 2021–2023 рр.

Строк сівби	Довжина колосу, см	Маса зерна в колосі, г	Кількість зерен в колосі, шт.	Маса 1000 зерен, г	Урожайність, т/га	+/- до першого строку сівби	
						т/га	%
15.03	5,9	0,738	17	52,34	2,9	-	-
1.04	5,7	0,725	14	51,79	2,8	-0,1	-3,4
15.04	5,5	0,711	16	51,50	2,7	-0,2	-6,9

Найнижчим цей показник був за другого строку сівби (-3 шт. порівняно до першого строку сівби).

Маса 1000 зерен була нижчою у рослин другого та третього строків на 0,55 г та 0,84 г відповідно.

Таким чином, найвищу продуктивність рослин було отримано саме за першого строку сівби (15.03) – 2,9 т/га. Прибавка врожаю до результатів другого та третього термінів сівби складала 0,1 та 0,2 т/га.

Такий вплив строків сівби на процеси органогенезу рослин пшениці туранської пояснюється тим, що вона гостро реагує на

посуху, тому висівання цієї культури у максимальні ранні строки сприяє частковому запобіганню впливу факторів як повітряної, так і ґрунтової посухи, які є характерними для умов Донецької області.

#### **Висновки**

Ранній строк сівби (15.03) пшениці туранської в східній частині Північного Степу України є одним з ключових факторів при формуванні вегетативних та генеративних органів культури через зниження впливу посушливих явищ. Затримка з терміном сівби на місяць знижує врожайність цієї культури на 6,9%.

#### **Список використаної літератури**

- Андрійченко Л.В. Вплив строків посіву на продуктивність сортів ярої пшениці в умовах півдня України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2006. Вип. 1 (33). С. 209–215.
- Антал Т.В. Вплив добрив та погодних умов на врожайність пшениці твердої ярої. *Вісник Полтавської держ. аграр. академії*. 2011. № 3. С. 40–43.
- Базалій В.В., Бойчук І.В., Базалій Г.Г., Ларченко О.В., Бабенко Д.В. Формування продуктивності у сортів пшениці різного типу розвитку. *Збірник наукових праць СГП-ННЦС*. 2016. Вип. 27 (67). С. 95–102.
- Бараболя О.В. Формування врожайності та якості зерна твердої ярої пшениці залежно від агроecологічних факторів. *Зб. наук. праць Уманського державного аграрного університету*. 2008. Вип. 70(2). С. 742–746.
- Господаренко Г.М., Костогриз П.В., Любич В.В., Парій М.Ф. Пшениця спельта. Київ : ТОВ «СІК ГРУП Україна», 2016. 312 с.
- Каленська С.М., Єрмакова Л.М., Паламарчук В.Д., Поліщук І.С., Поліщук М.І. Системи сучасних інтенсивних технологій у рослинництві. Вінниця : ФОП Рогальська І.О., 2015. 448 с.
- Коренев Г.В. Біологічне обґрунтування термінів та способів збирання хлібів. Київ : Урожай, 1967. 150 с.
- Манько К.М., Цехмейструк М.Г., Музафаров Н.М., Голік О.В., Музафаров І.М. Урожайність сучасних сортів пшениці ярої м'якої та твердої залежно від основних елементів технології вирощування. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2012. Вип. № 3. С. 87–90.
- Методологія та організація наукових досліджень : підручник / М.О. Клименко та ін.; за ред. В.О. Дружиніної. Вінниця : Видавництво ВНТУ «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2010. 358 с.
- Науково-обґрунтована система ведення агропромислового виробництва Донеччини. Донецьк : «Реґіон», 2007. 511 с.
- Рожков А.О. Формування посівів пшениці ярої за дії технологічних факторів. *Вісник ХНАУ. Серія «Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво»*. 2012. № 1. С. 28–44.
- Усов О.С., Манько К.М. Особливості формування врожайності пшениці твердої ярої залежно від попередника та основного обробітку ґрунту. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків: зб. наук. праць*. 2015. Вип. 23. С. 70–75.
- Buvaneshwari G., Yenagi N.B., Hanchinal R.R., Katarki P.A. Physico-chemical characteristics and milling quality of dicoccum wheat varieties. *Karnataka J. Agric. Sci.* 2001. Vol. 14. P. 736.
- Buvaneshwari G., Yenagi N.B., Hanchinal R.R., Naik R.K. Glycaemic responses to dicoccum products in the dietary management of diabetes. *Ind. J. Nutr. Diet.* 2003. Vol. 40. P. 363–368.
- Brandolini A., Hidalgo A., Moscaritolo S. Chemical composition and pasting properties of einkorn (*Triticum monococcum*) whole meal flour. *J Cereal Sci.* 2008. Vol. 47. P. 599–609. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.07.005>.
- Galterio G., Codianni P., Giusti A.M., Pezzarossa B., Cannella C. Assessment of the agronomical and technological characteristics of *Triticum turgidum ssp. dicoccum* Schrank and *T. spelta* L. *Nahrung Food*. 2003. Vol. 47. P. 54–59.

Gebruers K., Dornez E., Boros D., Dynkowska W., Bedo Z., Rakszegi M., Courtin C.M. Variation in the content of dietary fiber and components thereof in wheats in the health grain diversity screen. *J Agric Food Chem.* 2008. Vol. 56. P. 9740. <https://doi.org/10.1021/jf800975w>.

Laddomada B., Durante M., Mangini G., D'Amico L., Lenucci M. S., Simeone R., et al. Genetic variation for phenolic acids concentration and composition in a tetraploid wheat (*Triticum turgidum* L.) collection. *Genet. Resour. Crop Evol.* 2017. Vol. 64. P. 587–597. <https://doi.org/10.1007/s10722-016-0386-z>.

Laidò G., Mangini G., Taranto F., Gadaleta A., Blanco A., Cattivelli L., Marone D., Mastrangelo A. M., Papa R., De Vita P. Genetic diversity and population structure of tetraploid wheats (*Triticum turgidum* L.) estimated by SSR, DArT and pedigree data. *PloSONE.* 2013. Vol. 8 (6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067280>.

Mohan B.H., Malleshi N.G. Characteristics of native and enzymatically hydrolyzed common wheat (*Triticum aestivum*) and dicoccum wheat (*Triticum dicoccum*) starches. *Eur Food Res Technol.* 2006. Vol. 223. P. 355–361. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0212-x>.

Rodríguez-Quijano M., Lucas R., Ruiz M., Giraldo P., Espí A., Carrillo J.M. Allelic Variation and Geographical Patterns of Prolamin sinthe USDA-ARS Khorasan Wheat Germplasm Collection. *Crop Science.* 2010. Vol 50 (6). P. 2383–2391. <https://doi.org/10.2135/cropsci2010.02.0089>

Ward J.L., Poutanen K., Gebruers K., Piironen V., Lampi A.M., Nystrom L., Andersson A.A., Aman P., Boros D., Rakszegi M., Bedo Z., Shewry P.R. The Healthgrain cereal diversity screen: concept, results and prospects. *J Agric Food Chem.* 2008. Vol. 56. P. 9699. <https://doi.org/10.1021/jf8009574>.

## References

Andriichenko, L.V. (2006). Vplyv strokiv posivu na produktyvnist sortiv yaroyi pshenytsi v umovakh pivdnya Ukrayiny [The influence of sowing dates on the productivity of spring wheat varieties in the conditions of southern Ukraine]. *Visnyk ahromoyi nauky Prychornomor'ya [Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science]*, 1 (33), 209–215 [in Ukrainian].

Antal, T.V. (2011). Vplyv dobryv ta pohodnykh umov na vrozhaynist pshenytsi tverdoyi yaroyi [The effect of fertilizers and weather conditions on the yield of durum spring wheat]. *Visnyk Poltavskoyi derzh. ahrrar. Akademiyi [Bulletin of Poltava state agrarian academy]*, 3, 40–43 [in Ukrainian].

Bazalii, V.V., Boichuk, I.V., Bazalii, H.H., Larchenko, O.V., & Babenko, D.V. (2016). Formuvannya produktyvnosti u sortiv pshenytsi riznoho typu rozvytku [Productivity formation in various wheat varieties with different types of development]. *Zbirnyk naukovykh prats Selektsiyno-henetychnyy instytut – Natsionalnyy tseentr nasinnyeznavstva ta sortovuyvchennya [Collection of scientific works of Collection of scientific works of the Selection and Genetic Institute of the National center of seed science and variety study]*, 27 (67), 95–102 [in Ukrainian].

Barabolya, O.V. (2008). Formuvannya vrozhaynosti ta yakosti zerna tverdoyi yaroyi pshenytsi zalezno vid ahroekolohichnykh faktoriv [Formation of yield and grain quality of durum spring wheat depending on agroecological factors]. *Zb. nauk. prats Umanskoho derzhavnogo ahromoho universytetu [Coll. of science works of the Uman State Agrarian University]*, 70 (2), 742–746 [in Ukrainian].

Hospodarenko, H.M., Kostohryz, P.V., Lyubych, V.V., & Pariy, M.F. (2016). Pshenytsya spelta [Spelled wheat]. Kyiv: TOV «SIK HRUP Ukrayina» [in Ukrainian].

Kalenska, S.M., Yermakova, L.M., Palamarchuk, V.D., Polishchuk, I.S., & Polishchuk, M.I. (2015). Systemy suchasnykh intensyvnnykh tekhnolohiy u roslynnnytstvi [Systems of modern intensive technologies in crop production]. Vynnytsya : FOP Rohalska I.O. [in Ukrainian].

Korenev, G.V. (1967). Biolohichne obgruntuvannya terminiv ta sposobiv zbyrannya khlibiv [Biological substantiation of the terms and methods of harvesting bread]. Kyiv : Urozhay [in Ukrainian].

Manko, K.M., Tsekhmeistruk, M.G., Muzafarov, N.M., Golik, O.V., & Muzafarov, I. M. (2012). Urozhaynist suchasnykh sortiv pshenytsi yaroyi m'yakoyi ta tverdoyi zalezno vid osnovnykh elementiv tekhnolohiyi vyroshchuvannya [Productivity of modern varieties of soft and hard spring wheat depending on the basic elements of growing technologies]. *Byuleten Instytutu silskoho hospodarstva stepovoyi zony NAAN Ukrayiny [Bulletin Institute of agriculture of steppe zone NAAS of Ukraine]*, 3, 87–90 [in Ukrainian].



Metodolohiya ta orhanizatsiya naukovykh doslidzhen (2010). [Methodology and organization of scientific research: textbook]. Druzhinina, V.O. Ed. Vinnytsya : Vydavnytstvo VNTU «UNIVERSUM-Vinnytsya» [in Ukrainian].

Naukovo-obgruntovana systema vedennya ahropromyslovoho vyrobnytstva Donechchyny (2007). [Scientifically based system of management of agro-industrial production of Donetsk region]. Donetsk : «Region» [in Ukrainian].

Rozhkov, A.O. (2012). Formuvannya posiviv pshenytsi yaroyi za diyi tekhnolohichnykh faktoriv [Formation of spring wheat crops due to technological factors]. *Visnyk KhNAU. Seriya «Roslynnnytstvo, selektsiya i nasinnnytstva, plodoovochivnytstvo»* [Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series "Crop growing, selection and seed production, fruit and vegetable growing"], 1, 28–44 [in Ukrainian].

Usov, O.S., & Manko, K.M. (2015). Osoblyvosti formuvannya vrozhaynosti pshenytsi tverdoyi yaroyi zalezno vid poperednyka ta osnovnoho obrobitku gruntu [Specifics of yield formation in spring durum wheat subject to predecessor and primary tillage]. *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovyykh buriakiv: zb. nauk. Prats* [Scientific papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet : Collected articles], 23, 70–75 [in Ukrainian].

Buvaneshwari, G., Yenagi, N.B., Hanchinal, R.R., & Katarki, P.A. (2001). Physico-chemical characteristics and milling quality of dicoccum wheat varieties. *Karnataka J. Agric Sci.*, 14, 736 [in English].

Buvaneshwari, G., Yenagi, N.B., Hanchinal, R.R., & Naik, R.K. (2003). Glycaemic responses to dicoccum products in the dietary management of diabetes. *The Indian Journal of Nutrition and Dietetics*, 40 (10), 363–368 [in English].

Brandolini, A., Hidalgo, A., & Moscaritolo, S. (2008). Chemical composition and pasting properties of einkorn (*Triticum monococcum*) whole meal flour. *J Cereal Sci.*, 47, 599–609. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.07.005> [in English].

Galterio, G., Codianni, P., Giusti, A.M., Pezzarossa, B., & Cannella, C. (2003). Assessment of the agronomical and technological characteristics of *Triticum turgidum* ssp. *dicoccum* Schrank and *T. spelta* L. *Nahrung Food*, 47, 54–59 [in English].

Gebruers, K., Dornez, E., Boros, D., Dynkowska, W., Bedo, Z., Rakszegi, M., & Courtin, C.M. (2008). Variation in the content of dietary fiber and components thereof in wheats in the health grain diversity screen. *J Agric Food Chem.*, 56, 9740. <https://doi.org/10.1021/jf800975w> [in English].

Laddomada, B., Durante, M., Mangini, G., D'Amico, L., Lenucci, M.S., & Simeone, R. et al. (2017). Genetic variation for phenolic acids concentration and composition in a tetraploid wheat (*Triticum turgidum* L.) collection. *Genet. Resour. Crop Evol.*, 64, 587–597. <https://doi.org/10.1007/s10722-016-0386-z> [in English].

Laidò, G., Mangini, G., Taranto, F., Gadaleta, A., Blanco, A., Cattivelli, L., Marone, D., Mastrangelo, A.M., Papa, R., & De Vita, P. (2013). Genetic diversity and population structure of tetraploid wheats (*Triticum turgidum* L.) estimated by SSR, DArT and pedigree data. *PLoS ONE*, 8 (6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067280> [in English].

Mohan, B.H., Malleshi, N.G. (2006). Characteristics of native and enzymatically hydrolyzed common wheat (*Triticum aestivum*) and dicoccum wheat (*Triticum dicoccum*) starches. *Eur Food Res Technol.*, 223, 355–361. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0212-x> [in English].

Rodriguez-Quijano, M., Lucas, R., Ruiz, M., Giraldo, P., Espi, A., & Carrillo, J.M. (2010). Allelic Variation and Geographical Patterns of Prolamin sinthe USDA-ARS Khorasan Wheat Germplasm Collection. *Crop Science*, 50 (6), 2383–2391. <https://doi.org/10.2135/cropsci2010.02.0089> [in English].

Ward, J.L., Poutanen, K., Gebruers, K., Piironen, V., Lampi, A.M., Nystrom, L., Andersson, A.A., Aman, P., Boros, D., Rakszegi, M., Bedo, Z., & Shewry, P.R. (2008). The Healthgrain cereal diversity screen: concept, results and prospects. *J Agric Food Chem.*, 56, 9699. <https://doi.org/10.1021/jf8009574> [in English].

Отримано: 29.07.2024  
Прийнято: 12.08.2024



УДК 631.963

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.22>

## ВПЛИВ РОЗТАШУВАННЯ ЛІСІВ НА АГРОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТУ В АГРОЕКОСИСТЕМІ

О. І. Врадій<sup>1</sup>, А. В. Салямон<sup>2</sup>

На сьогоднішній день одним із основних завдань сільськогосподарського виробництва є створення оптимального режиму формування та функціонування агроєкосистем задля отримання стабільних і високих врожайів. Агроєкосистеми є антропогенними системами і, на відміну від природних екосистем, кругообіг речовин та енергії в них здійснюється за вимушеної участі людини. Натомість, природні екологічні процеси, що відбуваються в ґрунтах і сільськогосподарських культурах, визначають подальшу долю агроєкосистем не в меншій мірі, ніж технологічні впливи, такі як обробіток ґрунту, зрошення та внесення добрив. Саме тому теоретичною основою землекористування має бути сукупність наукових знань про взаємодію між рослинами, тваринами і мікроорганізмами в агроєкосистемах та вплив факторів навколишнього середовища на їх життєдіяльність. Враховуючи провідну роль культурних рослин у формуванні агроценозу, теорію процесів сільськогосподарського рослинництва слід вважати основною частиною цієї сукупності наукових знань. У природних системах баланс кругообігу поживних речовин досягається різноманітністю видів рослин і тварин, поширених на даній території, але такий баланс по суті недосяжний в агроєкосистемах, де врожайі формуються переважно з одного виду рослин. Тому винесення мінеральних і органічних сполук з агроєкосистеми необхідно постійно доповнювати внесенням добрив, а для одночасного співіснування в природі різних видів рослин необхідно регулярно чергувати їх у вигляді сівозміни. Однак досягти повної гармонії в агроєкосистемах неможливо. Застосування гербіцидів та інсектицидів призводить до дисбалансу в екосистемі, що, як наслідок, веде до вирошування спеціальних культур, вразливих до хвороб, бур'янів та нашествя шкідників. Водночас, побічні ефекти використання хімічних засобів захисту рослин впливають на екологічний стан самого ґрунту, а також сусідніх лісів і водойм.

Представлені дані агрохімічного обстеження ґрунтів на прикладі агроєкосистеми села Плебанівка, культурою вирошування якої є соя та структурним і невід'ємним елементом якої є ліси розташовані в її структурі. Встановлені різні показники обмінної кислотності (рН) в залежності від дальності розташування від лісу, в основному рН є нейтральною у більшості відібраних зразків. Встановлено, що є ділянки, які мають дуже низькі показники лужногідролізованого азоту – 53 мг/кг, 61 мг/кг, 78 мг/кг та 81 мг/кг; один зразок з низьким вмістом

<sup>1</sup> кандидат сільськогосподарських наук, доцент  
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)  
e-mail: oksanavradii@gmail.com  
ORCID: 0000-0001-7383-3829

<sup>2</sup> аспірант  
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)  
e-mail: salart27072000@gmail.com  
ORCID: 0009-0006-9236-7652

рухомого фосфору – 42 мг/кг, всі інші зразки характеризувались високим ступенем забезпеченості ґрунту; показники обмінного калію мали у всіх зразках високий ступінь забезпечуваності ґрунту від 150 мг/кг до 195 мг/кг.

**Ключові слова:** агроекосистема, продуктивність, ліс, агрохімічні показники, ступінь забезпеченості.

## INFLUENCE OF LOCATION OF FORESTS ON AGROCHEMICAL INDICATORS OF SOIL FERTILITY IN AN AGROECOSYSTEM

O. I. Vradii, A. V. Saliamon

Today, one of the main tasks of agricultural production is the creation of an optimal mode of formation and functioning of agroecosystems in order to obtain stable and high yields. Agroecosystems are anthropogenic systems and, unlike natural ecosystems, the circulation of substances and energy in them is carried out with the forced participation of humans. Instead, natural ecological processes occurring in soils and crops determine the future fate of agroecosystems no less than technological influences such as tillage, irrigation and fertilization. That is why the theoretical basis of land use should be a set of scientific knowledge about the interaction between plants, animals and microorganisms in agroecosystems and the influence of environmental factors on their vital activities. Considering the leading role of cultivated plants in the formation of agrocenosis, the theory of processes of agricultural plant production should be considered the main part of this body of scientific knowledge. In natural systems, the balance of the cycle of nutrients is achieved by the variety of plant and animal species distributed in the given territory, but such a balance is essentially unattainable in agroecosystems, where crops are formed mainly from one type of plant. Therefore, the removal of mineral and organic compounds from the agroecosystem must be constantly supplemented with fertilizers, and for the simultaneous coexistence of different types of plants in nature, it is necessary to regularly rotate them in the form of crop rotation. However, it is impossible to achieve complete harmony in agroecosystems. The use of herbicides and insecticides leads to an imbalance in the ecosystem, which as a result leads to the cultivation of special crops that are vulnerable to diseases, weeds and pest infestation. At the same time, the side effects of using chemical plant protection agents affect the ecological condition of the soil itself, as well as the neighboring forests and water bodies. The data of the agrochemical survey of soils are presented on the example of the agroecosystem of the village of Plebaniivka, the culture of which is soybean and the structural and integral element of which are the forests located in its structure. Different indicators of exchange acidity (pH) were established depending on the distance of the location from the forest, basically the pH is neutral in most of the selected samples. It was established that there are areas that have very low indicators of alkaline hydrolyzed nitrogen – 53 mg/kg, 61 mg/kg, 78 mg/kg and 81 mg/kg; one sample with a low content of mobile phosphorus – 42 mg/kg, all other samples were characterized by a high degree of soil availability; indicators of exchangeable potassium in all samples had a high degree of availability of the soil from 150 mg/kg to 195 mg/kg.

**Key words:** agroecosystem, productivity, forest, agrochemical indicators, degree of security.

### Вступ

На сьогоднішній день, питання забруднення навколишнього середовища, екологічні та кліматичні зміни, вирубка лісів, стік озер та знищення біоти посідають перше місце з питань екологічної безпеки по всьому світу (Poloviy, 2005; Дебринюк і Распопіна, 2019).

Сільськогосподарська діяльність призвела до формування нового типу екосистем – агроекосистем, які прийшли на зміну попереднім природним угрупованням. Агроекосистеми є найбільш чутливими до антропогенних змін, спричиняючи швидкі зміни в популяційному та видовому складі агроландшафтів. Агроекосистеми є єдиним

екорегіональним сектором, в якому людина може контролювати і модифікувати генетичні зрушення (Magdoff, 2007; Vodnar, 2016).

Родючість ґрунту – це здатність ґрунтів функціонувати в природних та антропогенних екосистемах, підтримуючи продуктивність сільськогосподарських культур, якісні показники води та повітря, добробут людей та середовище існування біорізноманіття. Антропогенний вплив на родючість ґрунтів значною мірою зумовлений необхідністю задовольнити зростаючий попит населення на продукти харчування, волокно та паливо. В останні десятиліття було докладено значних зусиль для підвищення про-

дуктивності сільського господарства за рахунок збільшення використання добрив і пестицидів, іригації, управління земельними ресурсами і сільськогосподарськими культурами та широкомасштабної трансформації земель (Гнатів та ін., 2011).

Останніми роками зростає визнання і занепокоєння стосовно того, що інтенсифікація сільського господарства створює значне навантаження на здатність ґрунту підтримувати інші функції, що призводить до широкомасштабної деградації екосистем і довгострокових втрат продуктивності. Наприклад, перетворення природних екосистем на сільськогосподарські угіддя призвело до величезних екологічних втрат, включаючи опустелювання, збільшення викидів парникових газів, зменшення органічної речовини ґрунту, втрату біорізноманіття та зміну біогеохімічних і гідрологічних циклів (Hatcher & Melander, 2003). Таким чином, перед сучасним сільським господарством стоять серйозні завдання не лише забезпечити глобальну продовольчу безпеку шляхом підвищення врожайності, але й зменшити екологічні витрати, особливо в контексті змін навколишнього середовища та зростаючої конкуренції за земельні, водні та енергетичні ресурси. Ліси є одним з природних ресурсів, який можна відновити і підтримувати у ньому стан та чисельність біорізноманіття (Cunningham et al., 2005; Duhamel & Vandenkoornhuysen, 2013). Ліси також мають потенціал як агро-екологічної території, які можуть принести користь людському суспільству в їхніх околицях (Enger & Smith, 2004). Тому актуальністю цього дослідження є вивчення впливу лісів, як компонента агроекосистеми на показники родючості ґрунтів.

Ліси є найбільш продуктивними екосистемами з точки зору поглинання енергії та виробництва органічної речовини. Висока біологічна продуктивність сільськогосподарських земель значною мірою зумовлена антропогенним шляхом. Це означає, що внесення додаткової енергії ззовні (у вигляді палива, енергії для обробітку, зрошення та добрив) збільшує енергію на цих територіях (Разанов та ін., 2021; Букша, 2022). Джерелами енергії є природні екосистеми (переважно ті ж самі ліси), які колись виробляли енергетичні ресурси – вугілля, нафту та воду (Генсірук, 2002; Лісняк та ін., 2019).

Роль лісів у біосфері можна оцінювати з різних точок зору. Важливою оцінкою екосистеми є швидкість перетворення хіміч-

них елементів. Чим швидше відбувається перетворення, тим позитивніше оцінюється вплив екосистеми на біосферу. Однак у сучасних умовах стабілізація умов життя на Землі та використання біосферних процесів для забезпечення цієї стабілізації, хоча і залишається важливою, але відбувається все частіше і в більшій мірі. Наприклад, регулювання вмісту чадного газу в атмосфері вимагає довготривалого зв'язування з органічними сполуками, а не прискорення циклу. Зростання попиту на воду вимагає не лише прискорення кругообігу води, але й регулювання її рівномірного постачання її. Іншими словами, необхідно раціонально координувати природні процеси та оптимізувати їх для довгострокових потреб людини, враховуючи при цьому найвіддаленіші наслідки. Це набагато складніше, ніж проста інтенсифікація, оскільки вимагає заходів для того, щоб біологічні процеси йшли у двох протилежних напрямках і були взаємно скоординовані. Ліси можуть бути найбільш ефективно використані для вирішення цих проблем через їхній надзвичайно різноманітний вплив на біологічні процеси та величезну біологічну пластичність (Жила, 2013; Шевченко і Десятник, 2019).

Киснеутворююча здатність лісів, а також їхній потенціал щодо поглинання вуглецю та захисту від забруднення вуглекислим газом прямо пропорційний їхній продуктивності та тривалості їхнього збереження як живих природних компонентів. У зв'язку з цим, ліси є не тільки основними споживачами вуглецю на суші, але й основним сховищем біологічно зв'язаного вуглецю (не враховуючи викопне паливо, яке вийшло з обігу, але частина вуглецю, що зберігається у викопному паливі, повертається в атмосферу через спалювання людиною). Ліси містять від 400 до 500 мільярдів тонн вуглецю, що становить близько двох третин загального запасу вуглецю в атмосфері (Стрельченко та ін., 2000; Морозюк, 2009).

Окрім глибинних хімічних процесів у біосфері, велике значення для людини має також фізична структура змін, що відбуваються в біосфері, які тісно пов'язані з господарською діяльністю людини. Фізичний і навіть механічний вплив лісів на ці процеси змін має велике значення. І якщо хімічні процеси важливі як для прискорення, так і для уповільнення, то фізичні процеси потребують стабілізації, тобто вирівнювання та послаблення амплітуд коливань. Захисні та стабілізуючі властивості лісів мають вирішальне

значення для збереження природи. Їхні властивості різноманітні і проявляються по відношенню до землі, води, повітря, господарських об'єктів і самої людини.

Захисні та стабілізаційні властивості лісів є найбільш важливими, коли вони позитивно впливають на об'єкти, що становлять інтерес для людини, тобто промислові підприємства, міста та інші населені пункти, транспортні шляхи, сільськогосподарські угіддя, джерела води та водосховища, мисливські угіддя, курорти, зони водопостачання та водовідведення, а також місця з небажаними кліматичними змінами. Ліси позитивно впливають на природні явища в цих об'єктах лише в тому випадку, якщо вони розташовані безпосередньо на їх території або поблизу неї. Крім того, всі ліси в густонаселених районах, як правило, мають підвищену захисну та стабілізаційну цінність (Коваленко, 2018).

Питання охорони природи та родючості сільськогосподарських земель безпосередньо пов'язані з експлуатацією лісів. Чим більше розвивається людська популяція, тим важливішим стає це питання. Це пов'язано як зі зростанням чисельності населення, так і з потребою людей у кращих умовах життя.

Ліси збільшують пересіченість рельєфу, створюючи реальні перешкоди для руху повітряних мас, сповільнюючи приземні швидкості повітря і розсіюючи високошвидкісні повітряні потоки. Структура та відстань між лісосмугами можуть бути відрегульовані таким чином, щоб забезпечити захист ґрунтів від вітрової ерозії. Захист сільськогосподарських угідь лісами впливає на врожайність сільськогосподарських культур. На захищених полях врожайність на 15–25% вища. Чим гірші кліматичні умови, тим вища врожайність на захищених лісом полях порівняно з незахищеними (Bodnar et al., 2016).

## Матеріал і методи

Зразки ґрунту для досліджень відбирались на площі агроєкосистеми, що включає в свій склад ліс експлуатаційного призначення з переважаючими дубово-грабовими породами та агроценоз, що включає у себе поле площею 33 га, на якому основною культурою, яку вирощують а період 2024 року – року наших досліджень є соя сорту Аполло, Seed Graine Company, Канада. Тип ґрунту – сірі лісові. Попередником була озима пшениця сорту Кубус, що розташовані в селі Плебанівка Жмеринського району Шаргородської міської громади Вінницького району (48°47'39" пн. ш. 28°00'36" сх. д.). Перед посівом основної культури (сої) було проведено дискове лушення попередника озимої пшениці дисковою бороною АГ-2.4. В 1 декаді листопада проведено оранку на глибину 18–20 см. При настанні фізичної сплості ґрунту проведено закриття вологи. 10 травня проводився посів сої сівалкою СЗ-4.0 з одночасною передпосівною культивуацією Європак – 6000. Норма висіву сої 140 кг/га з одночасним внесенням мінеральних добрив сульфат амонію у нормі 100 кг/га.

Зразки ґрунту відбирали перед безпосередньою обробкою поля агрохімікатами методом конверту, суть якого полягає у відборі ґрунтів п'яти проб з кожного поля чи ділянки. Проби ґрунту відбирали на глибині переорювання ґрунтів до 20 см. Всі п'ять зразків змішували з кожної ділянки окремо, відбирали залишки вегетативної маси рослин, після чого формували представницьку пробу методом точкових проб для лабораторних досліджень. Зразки ґрунту були розміщені у пронумеровані пакети та доставлені для проведення лабораторного дослідження до Державної установи «Інститут охорони ґрунтів України».

Таблиця 1

Групування ґрунтів за вмістом агрохімічних показників та ступенем кислотності

№ п/п	Забезпеченість ґрунту поживними речовинами	Гумус, %	N	P2O5	K2O5	Обмінна кислотність (pH)	
						мг на 1 кг ґрунту	
1	Дуже низька	< 1,1	< 100	< 20	< 20	Дуже сильнокислі	< 4,0
2	Низька	1,01–2,00	100–150	21–50	21–40	Сильнокислі	4,1–4,5
3	Середня	2,01–3,00	150–200	51–100	41–80	Середньокислі	4,6–5,0
4	Підвищена	3,01–4,00	> 200	101–150	81–120	Слабокислі	5,1–5,5
5	Висока	4,01–5,00	–	151–200	121–180	Близькі до нейтральних	5,6–6,0
6	Дуже висока	> 5,0	–	> 200	> 180	Нейтральні	> 6,0

Агрохімічні показники відібраних зразків ґрунту аналізували за загальноприйнятими методиками (табл. 1) (ДСТУ ISO 10381-1:2004; ДСТУ 4287:2004; ДСТУ ISO 10381-2:2004; ДСТУ 4770.1:2007 – ДСТУ 4770.9:2007; ДСТУ ISO 10390:2001).

### Результати та їх обговорення

Проведені нами дослідження у агроєкосистемі, що функціонує на території села Плебанівка показують різні значення агрохімічних показників ґрунту в залежності від віддалі розташування лісу (табл. 2). Зразок ґрунту № 1, відібраний на відстані 10 м від лісу, характеризувався низьким вмістом гумусу та дуже низьким вмістом азоту лужногідролізованого при нейтральній рН та високих показниках вмісту рухомого фосфору та обмінного калію.

Зразок № 2, відібраний на відстані 50 м від лісу, характеризувався низьким вмістом гумусу та дуже низьким вмістом азоту лужногідролізованого при близькій до нейтральної рН та підвищеному вмісті рухомого фосфору та дуже високому вмісту обмінного калію. Зразок № 3, відібраний на відстані 100 м від лісу, характеризувався низьким вмістом гумусу та середньою забезпеченістю ґрунту лужногідролізованим азотом, низькою забезпеченістю ґрунту рухомих фосфором та високою забезпеченістю обмінним калієм при середньокислій рН.

Зразок № 4, відібраний на відстані 200 м від лісу, характеризувався високим вмістом гумусу при сильно кислій рН і рівнем забезпеченості ґрунту: азоту лужногідролізованого – низький, рухомого фосфору – середній, обмінного калію – високий. Зразок № 5, відстань відбирання – 500 м, мав нейтральну рН, середній показник вмісту гумусу та рівні

забезпеченості ґрунту: лужногідролізованим азотом – низький, рухомих фосфором – дуже високий, обмінним калієм – високий. Зразок № 6, відібраний на відстані 1000 м від лісу, містив нейтральну рН та характеризувався ступенем забезпеченості ґрунту: лужногідролізованим азотом – дуже низький, рухомих фосфором – підвищений, обмінним калієм – дуже високий.

### Висновки

З'ясовано, що віддаль розташування лісів у структурі агроєкосистеми має певний вплив на агрохімічні показники ґрунту цієї агроєкосистеми. У всіх відібраних зразках на відстані від 10 до 1000 м обмінна кислотність (рН) була нейтральною, окрім зразків на відстані 100–200 м, де рН була сильнокислою та слабкислою, як варіант внесення вапна для зменшення кислотності ґрунту. Вміст гумусу зростає із кожним наступним показником відстані від лісу, окрім останнього, на відстані 1000 м, вміст гумусу значно нижчий попереднього, як варіант внесення органічних добрив на ділянці поля, що має знижений вміст гумусу. Вміст азоту лужногідролізованого, рухомого фосфору та обмінного калію також різнився за своїми показниками. Найвищий та найнижчий вміст лужногідролізованого азоту спостерігався на відстані 200 м та 100 м відповідно. Найвищий та найнижчий вміст рухомого фосфору спостерігався на відстані 500 м та 100 м відповідно. Найвищий та найнижчий вміст обмінного калію спостерігався на відстані 1000 м та 100 м відповідно. Всі агрохімічні показники мають низькі числові значення ділянки поля, на відстані 100 м від лісу, як варіант дана ділянка потребує більшого внесення органічно-мінерального удобрення. Перспективами

Таблиця 2

Агрохімічні показники ґрунту агроєкосистеми с. Плебанівка

№ зразка	рН	Гумус, %	Азот лужногідролізований (за Корнфілдом) мг/кг	Рухомих фосфор за Чириковим (P205), мг/кг	Обмінний калій за Чириковим (K20), мг/кг
№1 (10 м)	6,3	1,64	81	154	166
№2 (50 м)	5,8	1,84	62	123	185
№3 (100 м)	5,0	1,84	53	43	150
№4 (200 м)	4,4	1,98	108	72	154
№5 (500 м)	7,0	2,06	106	295	174
№6 (1000 м)	6,0	1,70	78	146	195
НД на метод випробувань	ДСТУ ISO 10390-2007	ДСТУ 4362:2004	ДСТУ 7863-2015	ДСТУ 4115-2002	ДСТУ 4115-2002

подаальших досліджень є вивчення дальності розташування лісу на біометричні показники рослин сої та вивчення екоотоксикологічної характеристики ґрунтів поля агроєкосистми, а саме вміст важких металів на ділянках різної відстані від лісу.

### Список використаної літератури

- Букша І. Внесок лісового господарства України у зменшення ризику зміни клімату. Деякі аспекти глобальної зміни клімату в Україні. *Ініціатива з питань зміни клімату*. 2002. С. 132–146.
- Генсірук С. Ліси України. Львів : Наук. тов. ім. Шевченка, УкрДЛТУ, 2002. 496 с.
- Гнатів П.С., Снітинський В.В., Хірівський П.Р. Системний підхід в екології й охороні довкілля: актуальність знання і практичних навичок. *Наука і методика*. Київ : Аграрна освіта, 2011. № 23. Вип. 23. С. 81–86.
- Дебринюк Ю.М., Распопіна С.П. Вплив лісових насаджень плантаційного типу на показники родючості лісових ґрунтів в умовах Західного Лісостепу України. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2019. № 18. С. 35–45. <https://doi.org/10.15421/411903>.
- ДСТУ ISO 10381-1:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 1. Настанови щодо складання програм відбирання проб. [Чинний від 2006.04.01]. К. : Держспоживстандарт України, 2006. 36 с.
- ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. [Чинний від 2005.07.01]. К. : Держспоживстандарт України, 2005. 9 с.
- ДСТУ ISO 10381-2:2004. Якість ґрунту. Частина 2. Настанови з методів відбирання проб. [Чинний від 2006.04.01]. К. : Держспоживстандарт України, 2006. 29 с.
- ДСТУ 4770.1:2007 – ДСТУ 4770.9:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю (цинку, кадмію, заліза, кобальту, міді, нікелю, хрому, свинцю) в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009.01.01]. К. : Держспоживстандарт України, 2009. 117 с.
- ДСТУ ISO 10390:2001. Якість ґрунту. Визначення рН. [Чинний від 2003.01.01]. К. : Держстандарт України, 2003. 14 с.
- Жила Т.В. Особливості споживання послуг лісових екосистем у контексті екологічної глобалізації. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 23.11. С. 88–92.
- Коваленко І.М. Лісова екологія з основами лісовідновлення та лісорозведення: підручник. Суми : ПФ «Видавництво «Університетська книга», 2018. 240 с.
- Лісняк А.А., Торма S., Vilček J., Kiyovskiy P., Рего М.З. Зміна агрохімічних показників сірих лісових ґрунтів лівобережного лісостепу під впливом лісових екосистем. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2019. Вип. 31. С. 1–8.
- Морозюк О.В. Глобальні зміни клімату та регіональний вплив лісів на баланс вуглецю. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2009. Вип. 19.5. С. 88–92.
- Разанов С.Ф., Мельник В.О., Назарук Б.В., Куценко М.І. Оцінка агроєкологічного складу сірих лісових ґрунтів за різного сільськогосподарського використання. *Збалансоване природо-користування*. 2021. № 1. С. 146–153.
- Стрельченко В.П., Бовсуновський А.М., Стецюк О.П. Відтворення гумусу в агроєкосистемах Поліссі. *Вісник аграрної науки*. 2000. № 7. С. 9–13.
- Шевченко М.С., Десятник Л.М. Смарт методи управління родючістю ґрунтів: навчальний посібник для аспірантів спеціальності 201 – Агрономія. Дніпро : ДУ ІЗК НААН, 2019. 176 с.
- Bodnar V.O. General characteristics of forests and forestry of Ukraine. *Public report of the State Forest Resources Agency of Ukraine*. 2016. [Електронний ресурс]. URL: [http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art\\_id=62921](http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=62921) (дата звернення 10.06.2024).
- Cunningham W.P., Cunningham M.A., Saigo B.W. Environmental Science: a global concern. Boston-Toronto : Wm. C. Brown Publishers, 2005. 600 p.
- Duhamel M., Vandenkoornhuyse P. Sustainable agriculture: Possible trajectories from mutualistic symbiosis and plant neodomestication. *Trends in Plant Science*. 2013. Vol. 18. P. 597–600.
- Enger E.D., Smith B.F. Environmental Science: a study of interrelationships. Boston-Toronto : Wm. C. Brown Publishers, 2004. 477 p.
- Hatcher P.E., Melander B. Combining physical, cultural and biological methods: prospects for integrated non-chemical weed management strategies. *Weed Res*. 2003. Vol. 43. P. 303–322.
- Magdoff F. Ecological agriculture: Principles, practices, and constraints. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2007. Vol. 22(2). P. 109–117.
- Poloviy A.M. Model of productivity of agroecosystems. *Bulletin of the Odessa State Ecological University*. 2005. № 1. P. 79–86.

## References

- Buksha, I. (2002). Vnesok lisovoho hospodarstva Ukrainy u zmenshennia ryzyku zminy klimatu. Deiaiki aspekty hlobalnoi zminy klimatu v Ukraini [The contribution of forestry in Ukraine to reducing the risk of climate change. Some aspects of global climate change in Ukraine]. *Iniatsiatyva z pytan zminy klimatu [Climate Change Initiative]*. 132–146 [in Ukrainian].
- Hensiruk, S. (2002). Lisy Ukraïny [Forests of Ukraine]. Lviv : Nauk. tov. im. Shevchenka, UkrDLTU, 496 s. [in Ukrainian].
- Hnativ, P.S., Snitynskyi, V.V., & Khirivskyi, P.R. (2011). Systemnyi pidkhid v ekolohii y okhoroni dovkillia: aktualnist znannia i praktychnykh navychok. Nauka i metodyka [A systematic approach in ecology and environmental protection: relevance of knowledge and practical skills. Science and methodology]. Kyiv : *Ahrarna osvita [Agrarian education]*, 23, Vyp. 23, 81–86 [in Ukrainian].
- Debryniuk, I., & Raspopina, S. (2019). Vplyv lisovykh nasadzhen plantatsiinoho typu na pokaznyky rodiuchosti lisovykh gruntiv v umovakh Zakhidnoho Lisostepu Ukrainy [The influence of plantation-type forest plantations on the fertility indicators of forest soils in the conditions of the Western Forest Steppe of Ukraine]. *Naukovi pratsi Lisivnychoi akademii nauk Ukrainy [Scientific works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine]*, 18, 35–45. <https://doi.org/10.15421/411903> [in Ukrainian].
- DSTU ISO 10381-1:2004. (2004). Yakist gruntu. Vidbyrannia prob. Chastyna 1. Nastanovy shchodo skladannia prohram vidbyrannia prob [Soil quality. Sampling of samples. Part 1. Guidelines for drawing up sampling programs]. Chynnyi vid 2006.04.01 – Effective from 2006.04.01. K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy [Derzhspozhyvstandard of Ukraine], 2006. 36 s. [in Ukrainian].
- DSTU 4287:2004. (2004). Yakist gruntu. Vidbyrannia prob [Soil quality. Sampling of samples]. Chynnyi vid 2005.07.01 – Effective from 2005.07.01. K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy [Derzhspozhyvstandard of Ukraine], 2005. 9 s. [in Ukrainian].
- DSTU ISO 10381-2:2004. (2004). Yakist gruntu. Chastyna 2. Nastanovy z metodiv vidbyrannia prob [Soil quality. Part 2. Guidelines on sampling methods]. Chynnyi vid 2006.04.01 – Effective from 2006.04.01. K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy [Derzhspozhyvstandard of Ukraine], 2006. 29 s. [in Ukrainian].
- DSTU 4770.1:2007 – DSTU 4770.9:2007. (2007). Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk marhantsiu (tsynku, kadmiu, zaliza, kobaltu, midi, nikeliu, khromu, svyntsiu) v grunti v bufernii amoniino-atsetatnii vytiashtsi z rN 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii [Soil quality. Determination of the content of mobile manganese compounds (zinc, cadmium, iron, cobalt, copper, nickel, chromium, lead) in the soil in a buffered ammonium-acetate extract with pH 4.8 by atomic absorption spectrophotometry]. Chynnyi vid 2009.01.01 – Effective from 01.01.2009. K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy [Derzhspozhyvstandard of Ukraine], 2009. 117 s. [in Ukrainian].
- DSTU ISO 10390:2001. (2001). Yakist gruntu. Vyznachennia pH [Soil quality. Determination of pH]. Chynnyi vid 2003.01.01 – Effective from 2003.01.01. K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy [Derzhspozhyvstandard of Ukraine], 2003. 14 s. [in Ukrainian].
- Zhyla, T.V. (2013). Osoblyvosti spozhyvannia posluh lisovykh ekosystem u konteksti ekolohichnoi hlobalizatsii [Peculiarities of consumption of forest ecosystem services in the context of ecological globalization]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific bulletin of NLTU of Ukraine]*, 23.11, 88–92 [in Ukrainian].
- Kovalenko, I.M. (2018). Lisova ekolohiia z osnovamy lisovidnovlennia ta lisorozvedennia: pidruchnyk [Forest ecology with the basics of reforestation and afforestation: a textbook]. Sumy : PF «Vydavnytstvo «Universytetska knyha», 240 s. [in Ukrainian].
- Lisniak, A.A., Torma, S., Vilček, J., Kiyovskiy, P., & Reho, M.Z. (2019). Zmina ahrokhimichnykh pokaznykiv sirykh lisovykh gruntiv livoberezhnoho lisostepu pid vplyvom lisovykh ekosystem [Changes in agrochemical indicators of gray forest soils of the left-bank forest-steppe under the influence of forest ecosystems]. *Liudyna ta dovkillia. Problemy neoekolohii [Man and environment. Problems of neoecology]*, 31, 1–8 [in Ukrainian].
- Moroziuk, O.V. (2009). Hlobalni zminy klimatu ta rehionalnyi vplyv lisiv na balans vuhletsiu [Global climate change and regional impact of forests on the carbon balance]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific bulletin of NLTU of Ukraine]*, 19.5, 88–92 [in Ukrainian].
- Razanov, S.F., Melnyk, V.O., Nazaruk, B.V., & Kutsenko, M.I. (2021). Otsinka ahroekolohichnoho skladu sirykh lisovykh hruntiv za riznoho silskohospodarskoho vykorystannia [Evaluation



of the agroecological composition of gray forest soils for different agricultural uses]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia [Balanced nature management]*, 1, 146–153 [in Ukrainian].

Strelchenko, V.P., Bovsunovskyi, A.M., & Stetsiuk, O.P. (2000). Vidtvorennia humusu v ahroekosystemakh Polissi [Reproduction of humus in agro-ecosystems of Polissia]. *Visnyk ahraryi nauky [Herald of Agrarian Science]*, 7, 9–13 [in Ukrainian].

Shevchenko, M.S., & Desiatnyk, L.M. (2019). Smart metody upravlinnia rodiuchistiu gruntiv: navchalnyi posibnyk dlia aspirantiv spetsialnosti 201 – Ahronomiia [Smart methods of soil fertility management: a study guide for graduate students of specialty 201 – Agronomy]. Dnipro : DU IZK NAAN. 176 s. [in Ukrainian].

Bodnar, V.O. (2016). General characteristics of forests and forestry of Ukraine. Public report of the State Forest Resources Agency of Ukraine. [Electronic resource] URL: [http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art\\_id=62921](http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=62921) ((access date 10.06.2024) [in English].

Cunningham, W.P., Cunningham, M.A., & Saigo, B.W. (2005). Environmental Science: a global concern. Boston-Toronto : Wm. C. Brown Publishers, 600 p. [in English].

Duhamel, M., & Vandenkoornhuysse, P. (2013). Sustainable agriculture: Possible trajectories from mutualistic symbiosis and plant neodomestication. *Trends in Plant Science*, 18, 597–600 [in English].

Enger, E.D., & Smith, B.F. (2004). Environmental Science: a study of interrelationships. Boston-Toronto : Wm. C. Brown Publishers, 477 p. [in English].

Hatcher, P.E., & Melander, B. (2003). Combining physical, cultural and biological methods: prospects for integrated non-chemical weed management strategies. *Weed Res*, 43, 303–322 [in English].

Magdoff, F. (2007). Ecological agriculture: Principles, practices, and constraints. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 22 (2), 109–117 [in English].

Poloviy, A.M. (2005). Model of productivity of agroecosystems. *Bulletin of the Odessa State Ecological University*, 1, 79–86 [in English].

Отримано: 17.07.2024

Прийнято: 04.09.2024



УДК 633.34:631.5:631.67

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.23>

## ЯКІСТЬ СОРТІВ СОЇ ЗА БІОЛОГІЗАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ НА ЗРОШЕННІ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

Я. М. Гадзало<sup>1</sup>, Р. А. Вожегова<sup>2</sup>, Я. О. Лікар<sup>3</sup>

Метою проведення досліджень було визначення якісних показників насіння сортів сої вітчизняної селекції. Дослідження проводили протягом 2013–2015 років на дослідному полі Інституту зрошувального землеробства НААН України, що знаходиться в південно-західній частині Херсонської області у 12 км від м. Херсона на землях Інгулецької зрошувальної системи. Трифакторний дослід (фактор А – сорт, В – строк сівби, С – система захисту рослин). Для проведення досліджень було відібрано три сорти сої, різних груп стиглості, селекції Інституту зрошувального землеробства НААН, які занесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних до поширення в Україні: Діона, Даная та Святогор. Строк сівби: перший – 20 квітня, другий – 5 травня, третій – 20 травня. Система захисту рослин: контроль (обробка водою), біозахист, хімзахист. Встановлено, що на вміст білка в насінні сої за її вирощування на поливних землях Південного Степу України найбільший вплив здійснював сортовий фактор та захист рослин. Максимальна білковість на рівні 41,2% сформована у сорту Святогор за другого строку сівби та застосуванні хімічного захисту рослин, а також у сорту Даная за першого строку сівби та застосуванні хімічного захисту рослин (39,7%). Найбільший вміст білку в насінні сортів сої (в середньому) отримано у варіанті з хімічним захистом – 39,6%, що на 1,6 відсоткових пунктів більше за контрольний варіант. Різниця між біологічним хімічним захистом становила 0,7%. У досліджуваних сортах спостерігався сильний кореляційний зв'язок між вмістом білку та урожайністю ( $r = 0,837...0,929$ ). Тред збільшення білковості насіння сортів сої вказує на те, що поліпшення умов онтогенезу рослин технологічними заходами з використанням засобів захисту та оптимізації строків сівби призводить до формування повноцінного насіння та підвищення реутилізації білкових сполук

<sup>1</sup> доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН,  
Президент

(Національна академія аграрних наук України, м. Київ)

e-mail: izz.biblio@ukr.net

ORCID: 0000-0002-5028-2048

<sup>2</sup> доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН,  
директор

(Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, смт Хлібодарське)

e-mail: izz.biblio@ukr.net

ORCID: 0000-0002-3895-5633

<sup>3</sup> 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

з листостеблової маси до репродуктивних органів. Хімічний захист рослин сортів сої мав істотний вплив на вміст жиру у всіх сортів відносно контролю. Проте, вплив хімічного та біологічного засобів захисту був майже на одному рівні, що вказує на можливість застосування таких засобів захисту для отримання однакового ефекту підвищення вмісту жиру в насінні сортів. Максимального рівня вміст жиру (22,6%) сягнув у варіанті з сортом Даная за другого і третього строків сівби на фоні хімічного захисту рослин.

**Ключові слова:** сорт, строк сівби, захист рослин, вміст білка, вміст жиру.

## THE QUALITY OF SOYBEAN VARIETIES ACCORDING TO THE BIOLOGIZATION OF ELEMENTS OF THE TECHNOLOGY OF GROWING UNDER IRRIGATION IN THE SOUTH OF UKRAINE

Y. M. Hadzalo, Y. O. Likar, R. A. Vozhehova

The purpose of the research was to determine the quality indicators of seeds of soybean varieties of domestic selection. The research was conducted during 2013–2015 at the experimental field of the Institute of Irrigated Agriculture of the National Academy of Sciences of Ukraine, located in the southwestern part of the Kherson region, 12 km from the city of Kherson, on the lands of the Ingulets irrigation system. Three-factor experiment (factor A – variety, B – sowing period, C – plant protection system). Three varieties of soybeans of different maturity groups, selections of the Institute of Irrigated Agriculture of the National Academy of Sciences of the Russian Academy of Sciences, which are included in the State Register of plant varieties suitable for distribution in Ukraine, were selected for the research:

Diona, Danaya, and Svyatogor. Sowing period: the first – April 20, the second – May 5, the third – May 20. Plant protection system: control (water treatment), bioprotection, chemical protection. It was established that the varietal factor and plant protection exerted the greatest influence on the protein content of soybean seeds during its cultivation on the irrigated lands of the Southern Steppe of Ukraine.

The maximum protein content at the level of 41.2% was formed in the Svyatogor variety during the second period of sowing and application of chemical plant protection, as well as in the Danaya variety during the first period of sowing and application of chemical plant protection (39.7%). The highest protein content in the seeds of soybean varieties (on average) was obtained in the version with chemical protection – 39.6%, which is 1.6 percentage points more than the control version. The difference between biological and chemical protection was 0.7%. A strong correlation between protein content and yield was observed in the studied varieties ( $r = 0.837...0.929$ ). The trend of increasing the protein content of the seeds of soybean varieties indicates that improving the conditions of plant ontogenesis by technological measures with the use of protection means and optimization of sowing dates leads to the formation of full-fledged seeds and increased reutilization of protein compounds from the leaf-stem mass to the reproductive organs. Chemical plant protection of soybean varieties had a significant effect on the fat content of all varieties relative to the control. However, the effect of chemical and biological protection agents was almost at the same level, which indicates the possibility of using such protection agents to obtain the same effect of increasing the fat content in the seeds of varieties. The maximum level of fat content (22.6%) was reached in the variant with the Danai variety during the second and third sowing periods against the background of chemical plant protection.

**Key words:** variety, sowing period, plant protection, protein content, fat content.

### Вступ

Проблема збільшення виробництва рослинного білка, як основи життя на планеті Земля має велике значення. Лише рослини здатні синтезувати білок, а тваринний організм може жити, розвиватися та бути високопродуктивним тільки споживаючи достатню кількість повноцінного білка. Вирішення проблеми достатнього виробництва повноцінного рослинного білка і тим самим суттєвого підвищення якості життя людини та продуктивності тваринництва можливе за рахунок збільшення виробни-

цтва зернобобових культур. Насіння сої культурної (*Glycine max* (L.) Merr.) є основним рослинним джерелом харчового і кормового протеїну. Воно має збалансоване співвідношення сирого протеїну, вуглеводів, жиру зі значною збалансованою часткою незамінних поліненасичених жирних кислот, вітамінів і мінеральних речовин. Саме ці біохімічні якості насіння визначають її біологічну цінність і виділяє як культуру майбутнього в трофічному ланцюгу людства.

Соєва культура (*Glycine max* (L.) Merr.) поєднує високий вміст в насінні сирого

протеїну та олії, рідкісний та корисний для ссавців різноманітний ферментативний та вітамінний набір. Соеве насіння містить 35–52% повноцінного за амінокислотним складом білка (лізин, триптофан), 17–27% високоякісної, за жирнокислотним складом, рослинної олії, 18–25% різних перетравних вуглеводів, основні рослинні вітаміни, 5% мінеральних солей, а також специфічні для цієї культури та біологічно активні, життєво важливі компоненти (вітаміни групи В, фосфоліпіди, ізофлавоноїди, лектини, сапоніни, фітати, олігосахариди).

Соевий білок має високу перетравність, добру розчинність, функціональні властивості (Жуйков та ін., 2020). Білок сої вважають за стандарт рослинних білків у цілому світі (Tkachuk & Alekseev, 2022).

*Glycine max* (L.) Merr. – єдина культура, застосування якої в рекомендованій кількості (150...260 г) задовольняє фізіологічну потребу організму дорослої людини протягом доби в комплексі амінокислот за відсутності інших джерел білка в раціоні (Havemeier & Slavin, 2020). У зерні сої міститься 20 і більше відсотків напіввисихаючої олії високої біологічної цінності, з хорошими харчовими властивостями та легкою засвоюваністю, без холестерину. Ця олія – основа серед харчових жирів завдяки високим смаковим якостям. Цінність соєвої олії полягає у високому вмісті (95%) гліцеридів, високоенергетичних жирних кислот, з них 75% – ненасичені (лінолева, олеїнова, ліноленова) і 15% – насичені (стеаринова, пальмітинова) та такі життєво важливі складові, як лецитин і природний вітамін Е (Діденко, 2017). Характерною особливістю сої є незначний вміст вуглеводів за високого вмісту білка та олії. Цінність вуглеводів сої у тому, що більша їх частина добре розчинна у воді й легко засвоюється тваринним організмом. Нерозчинні вуглеводи (клітковина, пектини, декстрини) теж відіграють важливу роль у харчуванні, оскільки активують засвоєння інших поживних речовин (Панцирева, 2020). Насіння сої культурної (*Glycine max* (L.) Merr.) є джерелом фосфатидів (фосфоровмісні жироподібні речовини), які в соєвому насінні представлені лецитином, фітином, нуклеїновими кислотами. Фосфатиди сприяють трансформації жирів в організмах людей та теплокровних тварин, беруть участь в утворенні білків і запобігають їхньому прискореному розпаду, підвищують засвоєння жирів та білків, що приймають участь в підтриманні

стабільності нервової тканини (Боровик та ін., 2015).

Соя має різноманітний склад ферментів: уреаза, ліпаза, каталаза, катепсин, протеаза, ліпоксидаза, редуктаза, пероксидаза, інвертаза, аскорбіназа та інші. В її рослині в різних кількостях виявлено практично всі вітаміни, які забезпечують високу харчову цінність сої. Найбільша їх кількість міститься у проростках та молодих рослинах (Choi et al., 2007).

Одним із основних постачальників світових ресурсів рослинних жирів є *Glycine max* (L.) Merr., у насінні якої міститься 18–23% жиру (а в деяких сортозразках та біотипах – до 28,6%) зі значним вмістом високоенергетичних жирних кислот. Поряд з цим, соя культурна є ще постачальником високоякісного за амінокислотним складом сирого протеїну. Проте, вміст білка в насінні та вміст жиру в сортів сої культурної знаходяться у від'ємній кореляції, що ускладнює селекційні розробки у напрямі поєднання високого вмісту в насіння сортів цих двох важливих біохімічних ознак. На сьогодні селекційно-генетичні розробки в напрямі покращення біохімічних показників якості насіння спрямовані, переважно, на підвищення білковості насіння, як основного показника харчової та кормової цінності рослинної продукції аграрного сектора світового виробництва. Тому, селекція сої культурної за показниками якості була спрямована на отримання генотипів з високим вмістом протеїну (до 45%) (Січкара, 2011).

На сьогодні у світовій переробній промисловості з насіння сої культурної, в різних країнах світу виготовляють понад 300 видів харчових продуктів, для чого необхідне насіння з певними морфологічними та біохімічними показниками, прийнятними для виготовлення відповідної продукції. У зв'язку з цим для переробної промисловості необхідна пропозиція широкого сортименту (харчового, кормового, технічного спрямування), виробництво яких змогло б забезпечити попит на виробництво соєвої продукції (Лавриненко та ін., 2012).

Високий вміст у насінні та вегетативній масі *Glycine max* (L.) Merr. високоякісного білка, значний відсоток олії в насіння, присутність вітамінів, мінеральних речовин та інших цінних сполук стимулює значне поширення і різновекторність використання сої у переробній промисловості. У порівнянні з іншими бобовими культурами (горох, нут, квасоля) соя культурна має значно більшу

сумарну кількість білка та олії в насінні, і тому й більший вихід їх з гектара посіву, навіть при порівняно нижчій урожайності зерна. Найбільш збалансоване за сумою основних (незамінних) амінокислот має насіння сої, потім люпину, гороху, кормових бобів. В одному кілограмі насіння гороху сума амінокислот у двічі менша (86,6 г), ніж у насінні сої (169,8 г). Вміст мікроелементів у насінні сої дуже різноманітний, що підвищує харчову та кормову цінність. Загальна сума їх становить 176,5–215,6 мг на 1 кілограм насіння. За вмістом марганцю (Mn) насіння сої у двічі перевищує горох, боби, сочевицю, чину (Мазур та ін., 2021).

За вмістом сирого протеїну, сирого жиру, фосфатидів та інших поживних речовин соя культурна значно переважає не лише тонконогові, але й багато інших зерновий та олійних культур. В насінні цієї бобової культури особливо багато вітамінів групи В (В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub> тощо). Так, наприклад, вітаміну В<sub>1</sub> у насінні сої утричі більше, ніж у сухому коров'ячому молоці, В<sub>2</sub> – у шість разів більше, ніж у пшениці, ячмені, вівсі і в тричі більше, ніж у кукурудзі. Насіння сої культурної є важливим джерелом вітаміну Е (токоферолу), який відіграє важливу роль у підтриманні нормальних фізіологічних функцій людини та тварин. Крім того, в насінні сої локалізовані вітаміни групи К (філохінони), що необхідні для синтезу в печінці протромбіну та інших білків, відповідальних за участь у згортанні крові: пантотенова кислота, біотін, холін та ін. У порівнянні з м'ясом тварин, соєвий білок майже удвічі більше містить фосфорної кислоти і в 4 рази мінеральних речовин (Keller et al., 2006).

### Матеріал і методи

Метою проведення досліджень було визначення біохімічних показників якості насіння сортів сої вітчизняної селекції. Дослідження проводили протягом 2013–2015 років на дослідному полі Інституту зрошуваного землеробства НААН України, що знаходиться в південній частині Херсонської області у 12 км від м. Херсона на землях Інгулецького зрошувального масиву.

Визначення показників якості насіння сортів сої проводили в трифакторному досліді (фактор А – сорт, В – строк сівби, С – система захисту рослин). Дослід заклали методом рендомізованих розщеплених блоків. Повторність чотириразова, посівна площа ділянки третього порядку – 75 м<sup>2</sup>, облікова – 50 м<sup>2</sup>.

Для проведення досліджень було відібрано три сорти сої культурної (*Glycine max* (L.) Merr.), різних груп стиглості, селекції Інституту зрошуваного землеробства НААН, які занесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних до поширення в Україні, і рекомендовані для вирощування в усіх кліматичних зонах України. Це інноваційні сорти з високою потенційною урожайністю, адаптовані до посушливих умов Південного Степу України та пластичні до умов вологозабезпечення.

*Сорт сої Діона*. Ранньостиглий. Гіпокотиль без антоціану. Тип росту – індетермінантний. Форма куща проміжна. Рослина з сірим опушенням. Насінина округло-вишукла, жовта, рубчик жовтий, лінійний. Напрямок використання – зерновий. *Сорт сої Даная*. Група стиглості – середньоранній, квітка білого кольору. Індетермінантний тип росту, з сірим опушенням. Насінина округло-вишуклої форми з основним світло-коричневим забарвленням оболонки та світло-коричневим рубчиком. *Сорт сої Святогор*. Група стиглості – середньоранній. Забарвлення насіння жовте без пігментації, рубчик коричневий з білим оком. Квітка фіолетового кольору. Індетермінантний тип росту, з коричневим опушенням, напрямком використання – зерновий.

Строк сівби: перший – 20 квітня, другий – 5 травня, третій – 20 травня. Система захисту рослин: контроль (обробка водою), біозахист, хімізахист.

Використовували методичні рекомендації з проведення польових дослідів в умовах зрошення (Ушкаренко та ін., 2013; Ушкаренко та ін., 2014).

### Результати

Лабораторним аналізом визначено, що на вміст білка в насінні сої за її вирощування на поливних землях Південного Степу України найбільший вплив здійснював сортовий фактор та захист рослин (табл. 1). Встановлено, що максимальним даний показник на рівні 41,2% сформувався у варіанті з сортом Святогор за другого строку сівби та застосуванні хімічного захисту рослин, а також у сорту Даная за першого строку сівби та застосуванні хімічного захисту рослин. Вміст білка в насінні зменшився на 4,3 відсоткових пунктів (36,9%) до свого мінімального значення у варіанті з сортом Діона за першого строку сівби та без біологічного та хімічного захисту рослин.

За сортовим складом виявлено максимальне значення досліджуваного показника

у сорту Святогор, у середньому по фактору – 39,4%. У сорту Діона він зменшився (на 0,9%) до 38,5%.

Строки сівби (фактор В) мінімально змінювали вміст білку в насінні у сорту Діона. Так, у сорту Діона встановлена тенденція зростання до 38,7% білковості за другого строку сівби. За інших строків даний показник зменшився лише на 0,2–0,5 відсоткових пунктів. У сорту Даная зростання вмісту білку зафіксовано за другого строку сівби (38,9%). У сорту Святогор також зафіксоване незначне підвищення білковості за другого строку сівби (39,7%) в середньому за фактором В. Слід зауважити, що таке збільшення складало лише 0,4–0,3 відсоткових пунктів і було на межі НІР<sub>05</sub> по цьому фактору.

Застосування біологічного та хімічного захисту більшою мірою вплинуло на вміст білку в насінні сої. Мінімальним цей показник сформувався у контрольному варіанті (обробка водою), де він склав, у середньому по фактору, 38,0%.

За біологічного захисту проявилось істотне зростання білковості з 38,0% (контроль) до 38,9%.

Найбільший вміст білка в насінні отримано у варіанті з хімічним захистом – 39,6%, що на 1,6 відсоткових пунктів більше за контрольний варіант. Різниця між біологічним захистом була мінімальною, проте істотною – 0,7 відсоткових пунктів.

Найвища білковість насіння була у сорту Святогор (39,4%), в середньому за всіма

факторами досліду. Найбільший вміст білку зафіксовано при застосуванні хімічного захисту та другого строку сівби – 41,2%.

У досліджуваних сортів спостерігався сильний кореляційний зв'язок між вмістом білку та урожайністю –  $r = 0,837-0,929$ , з високою силою зв'язку за шкалою Чеддока (рис. 1).

Тред збільшення білковості насіння сортів сої вказує на те, що поліпшення умов онтогенезу рослин технологічними заходами з використанням засобів захисту та оптимізації строків сівби призводить до формування повноцінного насіння та підвищення реутилізації білкових сполук з листостеблової маси до репродуктивних органів.

Вміст жиру в насінні сої характеризувався слабкою різницею залежно від сортового складу та строків сівби (табл. 2). Істотні сортові відмінності за головним ефектом фактора А спостерігались тільки у сорту Даная (21,8%). У цього сорту був найменший вміст жиру за різних строків сівби у порівнянні з іншими сортами. Мінімальний вміст жиру був зафіксований у цього сорту за пізнього строку сівби без використання засобів захисту.

Застосування біологічного захисту рослин істотно підвищило вміст жиру з 21,3% до 22,4% в середньому за фактором С.

Хімічний захист рослин сортів сої мав також істотний вплив на вміст жиру у всіх сортів відносно контролю. Проте, вплив хімічного та біологічного засобів захисту був майже на одному рівні, що вказує на рів-

Таблиця 1

Вміст білку в насінні сої залежно від сортового складу, строків сівби та захисту рослин, % (середнє за 2013–2015 рр.)

Сорт (фактор А)	Строк сівби (фактор В)	Захист рослин (фактор С)			Середнє по факторах	
		контроль	біозахист	хімзахист	В	А
Діона	Перший (20.04)	36,9	38,8	39,0	38,2	38,5
	Другий (05.05)	37,6	39,1	39,4	38,7	
	Третій (20.05)	37,5	39,0	39,1	38,5	
Даная	Перший (20.04)	37,6	38,1	39,5	38,4	38,6
	Другий (05.05)	38,1	38,8	39,7	38,9	
	Третій (20.05)	38,0	38,7	38,9	38,5	
Святогор	Перший (20.04)	38,7	39,0	40,1	39,3	39,4
	Другий (05.05)	38,6	39,2	41,2	39,7	
	Третій (20.05)	38,7	39,1	39,8	39,2	
Середнє по С		38,0	38,9	39,6		
НІР <sub>05</sub> часткових відмінностей, %: А – 1,01; В – 0,98; С – 0,75; головних ефектів, %: А – 0,71; В – 0,69; С – 0,65						

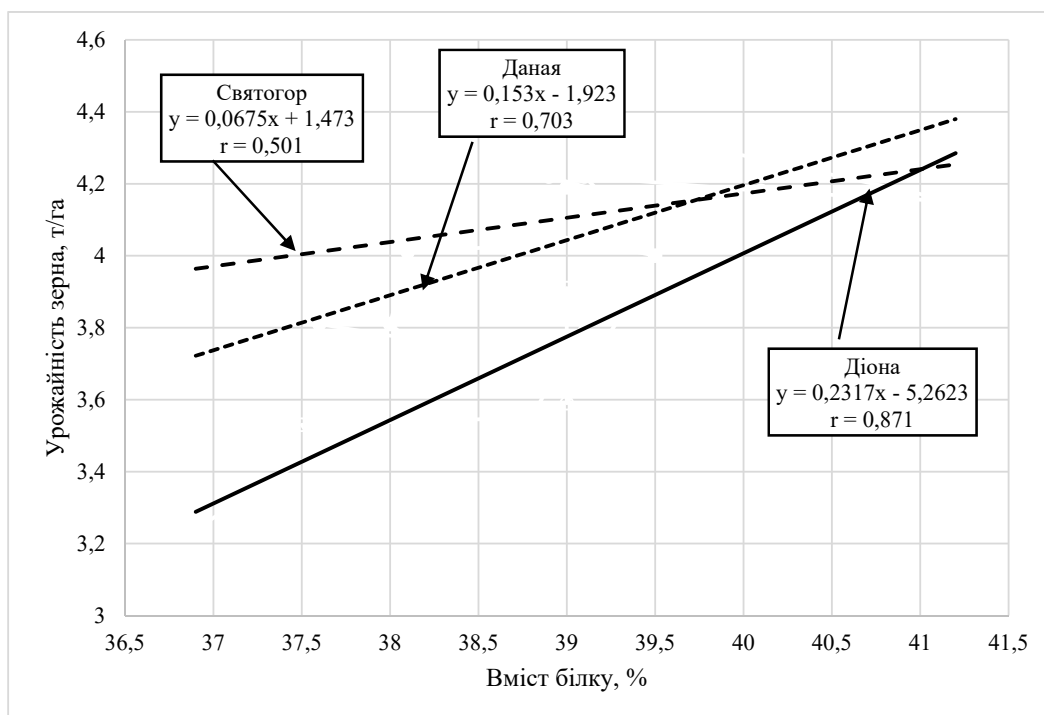


Рис. 1. Кореляційно-регресійна модель залежності між урожайністю та вмістом білка у сортів сої

нозначні можливості застосування таких засобів захисту для отримання однакового ефекту підвищення вмісту жиру в насінні сортів.

Максимального рівня вміст жиру (22,6%) зафіксовано у варіанті з сортом Даная за другого і третього строків сівби на фоні хімічного захисту рослин. Вміст жиру зменшився до мінімального значення (20,8%)

у сорту Діона за третього строку сівби та без застосування біологічних та хімічних засобів із захисту рослин.

По сортовому складу проявилась незначена перевага сорту Святогор, у якого досліджуваний показник – вміст жиру склав у середньому за фактором А 22,1%. У сорту Даная він неістотно зменшився на 0,1 відсотковий пункт, а у сорту Діона – на 0,3 відсо-

Таблиця 2

Вміст жиру в насінні сої залежно від сортового складу, строків сівби та захисту рослин, % (середнє за 2013–2015 рр.)

Сорт (фактор А)	Строк сівби (фактор В)	Захист рослин (фактор С)			Середнє по факторах	
		контроль	біозахист	хімзахист	В	А
Діона	Перший (20.04)	20,9	22,2	22,0	21,7	21,8
	Другий (05.05)	21,5	22,3	22,4	22,1	
	Третій (20.05)	20,8	22,3	22,1	21,7	
Даная	Перший (20.04)	21,1	22,4	22,2	21,9	22,0
	Другий (05.05)	21,7	22,4	22,6	22,2	
	Третій (20.05)	21,0	22,4	22,6	22,0	
Святогор	Перший (20.04)	21,3	22,5	22,2	22,0	22,1
	Другий (05.05)	21,9	22,5	22,4	22,3	
	Третій (20.05)	21,2	22,5	22,4	22,0	
Середнє по С		21,3	22,4	22,3	22,0	
НІР <sub>05</sub> часткових відмінностей, %: А – 0,25; В – 0,15; С – 0,34 головних ефектів, %: А – 0,18; В – 0,21; С – 0,25						

ткових пунктів. Отже така різниця у показниках вмісту жиру між всіма сортами була на межі статистичної доказовості.

Строки сівби також не мали статистично доказової різниці між досліджуваними варіантами. В усіх сортів проявилась слабка тенденція підвищення вмісту жиру в насінні за другого строку сівби (05.05), проте воно склаало лише 0,3–0,4 відсоткових пунктів.

Стосовно фактору С (захист рослин), то проявилась перевага біологічного захисту рослин, за якого вміст жиру був максимальним і склав, у середньому, 22,4%, що більше за контрольний варіант на 1,3 відсоткових пунктів. Близьке значення до біологічного з різницею лише 0,1 відсоткових пунктів мав також хімічний захист рослин, за якого вміст жиру становив 22,3%.

У сортів сої Діона, Даная, Святогор спостерігався слабкий кореляційний зв'язок між вмістом жиру та урожайністю насіння ( $r = 0,211...0,450$ ). Це, вказує на те, що на частку варіації результативної ознаки (вміст жиру) має опосередкований слабкий вплив показник «урожайність насіння» в порівнянні з іншими ознаками, які впливають на зміну загальної дисперсії факторіальної ознаки (рис. 2).

Показник «вміст жиру в зерні» має більшу стабільність прояву, порівняно з білковістю зерна, за різних технологічних заходів включно зі строками сівби та засобами захисту рослин. Сортові відмінності також мають низький рівень значущості, враховуючи те, що основні напрями селекції спрямовані на підвищення білковості у генотипах, а не на частку жиру в насінні.

#### Висновки

Встановлено, що на вміст білка в насінні сої за її вирощування на поливних землях Південного Степу України найбільший вплив здійснював сортовий фактор та захист рослин. Максимальна білковість на рівні 41,2% сформована у сорту Святогор за другого строку сівби та застосуванні хімічного захисту рослин, а також у сорту Даная за першого строку сівби та застосуванні хімічного захисту рослин (39,7%). Найбільший вміст білку в насінні сортів сої (в середньому) отримано у варіанті з хімічним захистом – 39,6%, що на 1,6 відсоткових пунктів більше за контрольний варіант. Різниця між біологічним та хімічним захистом становила 0,7%. У досліджуваних сортів спостерігався сильний кореляційний зв'язок між вмістом білку та урожайністю

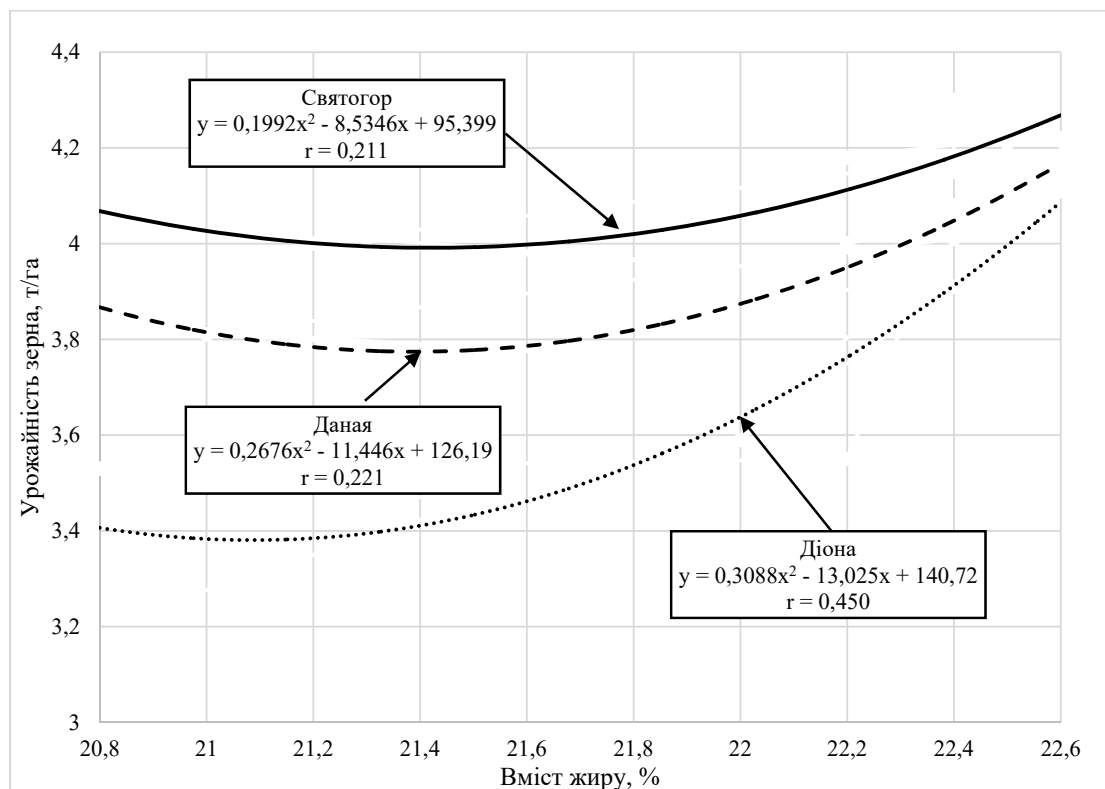


Рис. 2. Кореляційно-регресійна модель залежності між урожайністю зерна та вмістом жиру у сортів сої



( $r = 0,837...0,929$ ). Тред збільшення білкової насіння сортів сої вказує на те, що поліпшення умов онтогенезу рослин технологічними заходами з використанням засобів захисту та оптимізації строків сівби призводить до формування повноцінного насіння та підвищення реутилізації білкових сполук з листостеблової маси до репродуктивних органів. Хімічний захист рослин сортів сої мав істотний вплив на вміст жиру у всіх

сортів відносно контролю. Проте, вплив хімічного та біологічного засобів захисту був майже на одному рівні, що вказує на можливість застосування таких засобів захисту для отримання однакового ефекту підвищення вмісту жиру в насінні сортів. Максимального рівня вміст жиру (22,6%) сягнув у варіанті з сортом Даная за другого і третього строків сівби на фоні хімічного захисту рослин.

### Список використаної літератури

- Боровик В.О., Клубук В.В., Осиній М.Л., Лужанський І. Ю., Кузьмич В.І. Характеристика нових зразків сої за морфо-біологічними та господарськими ознаками. *Зрошуване землеробство* : міжвідомчий тематичний науковий збірник. 2015. Вип. 64. С. 158–161.
- Діденко Н.І. Виробництво сої в умовах інтеграційних процесів в Україні. *Економіка АПК*. 2017. № 1. С. 31–36.
- Жуйков О.Г., Іванів М.О., Марченко Т.Ю., Возняк В.В. Сучасне виробництво сої як елемент розв'язання проблеми харчового білка: світові тренди та вітчизняні реалії. *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 116. С. 54–63. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.1.7>.
- Лавриненко Ю.О., Клубук В.В., Марченко Т.Ю., Мельник М.А. Селекційно-агротехнічні аспекти збільшення виробництва сої в умовах зрошення. *Зрошуване землеробство* : міжвідомчий тематичний науковий збірник. 2012. Вип. 58. С. 107–111.
- Мазур В.А., Гончарук І.В., Дідур І.М., Панцирева Г.В., Телекало Н.В., Купчук І.М. Інноваційні аспекти технологій вирощування, зберігання і переробки зернобобових культур : монографія. Вінниця. 2021. 180 с.
- Панцирева Г.В. Вплив технологічних прийомів вирощування на зернову продуктивність зернобобових культур в умовах правобережного Лісостепу України. *Наукові доповіді НУБІП*. 2020. № 5 (87). <https://doi.org/10.31548/dopovidi2020.05.003>.
- Січкач В.І. Методи створення сортів сої з покращеним біохімічним складом насіння. *Корми і кормовиробництво*. 2011. Вип. 69. С. 37–44.
- Ткачик О.Р., Алексеев О.О. Технологічні та агроекологічні показники груп сортів сої за стиглістю. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Agronomy and Biology*. 2022. № 48 (2). P. 165–172. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.22>.
- Ушкаренко В.О., Вожегова Р.А., Голобородько С.П., Коковіхін С.В. Методика польового досліду (Зрошуване землеробство): навчальний посібник. Херсон : Грінь Д.С., 2014. 448 с.
- Ушкаренко В.О., Вожегова Р.А., Голобородько С.П., Коковіхін С.В. Статистичний аналіз результатів польових дослідів у землеробстві. Херсон : Айлант, 2013. 381 с.
- Choi I.-Y., Hyten D.L., Matukumalli L.K. et al. A soybean transcript map: gene distribution, haplotype and SNP analysis. *Genetics*. 2007. Vol. 176, Iss. 1. P. 685–696. <https://doi.org/10.1534/genetics.107.070821>.
- Havemeier S.M., Slavin J. Pulses and Legumes: Nutritional Opportunities and Challenges. *Cereal Foods World*. 2020. Vol. 65, Iss. 2. <https://doi.org/10.1094/CFW-65-2-0021>.
- Keller J., Senula A., Leunufna S., Grube M. Slow growth storage and cryopreservation – tools to facilitate germplasm maintenance of vegetatively propagated crops in living plant collections. *Int. J. Refriger*. 2006. № 29. P. 411–417.

### References

- Borovyk, V.O., Klubuk, V.V., Osiniy, M.L., Luzhanskyj, I.Ju., & Kuzjmych, V.I. (2015). Kharakterystyka novykh zrazkiv soji za morfo-biologichnyy ta ghospodarsjky my oznakamy [Characteristics of new soybean varieties based on morpho-biological and cultural characteristics]. *Zroshuvane zemlerobstvo: mizhvidomchyy tematychnyy naukovyy zbirnyk [Unraveling agriculture: interdepartmental thematic scientific collection]*, 64, 158–161 [in Ukrainian].
- Didenko, N.I. (2017). Vyrobnictvo soji v umovakh integracijnykh procesiv v Ukrajinі [Soybean virus production in the minds of integration processes in Ukraine]. *Ekonomika APK [Economics of the agro-industrial complex]*, 1, 31–36 [in Ukrainian].

Zhujkov, O.Gh., Ivaniv, M.O., Marchenko, T.Ju., & Voznjak, V.V. (2020). Suchasne vyrobnyctvo soji jak element rozv'jazannja problemy kharchovogho bilka: sivitovi trendy ta vitchyzniani realiji [Soybean daily production as an element in solving the problem of grub protein: light trends and agricultural realities]. *Tavrijskij naukovij visnyk [Tavria Scientific Newsletter]*, 116, 54–63 [in Ukrainian].

Lavrynenko, Ju.O., Klubuk, V.V., Marchenko, T.Ju., & Meljnyk, M.A. (2012). Selekcijno-agrotekhnichni aspekty zbilshennja vyrobnyctva soji v umovakh zroshennja [Breeding and agrotechnical aspects of increased soybean production in growers]. *Zroshuvane zemlerobstv: mizhvidomchuj tematychnyj naukovij [Unraveling agriculture: interdepartmental thematic scientific collection]* 58, 107–111 [in Ukrainian].

Mazur, V.A., Ghoncharuk, I.V., Didur, I.M., Pancyreva, Gh.V., Telekalo, N.V., & Kupchuk, I.M. (2021). Innovacijni aspekty tekhnologij vyroshhuvannja, zberighannja i pererobky zernobobovykh kuljtur: monografija [Innovative aspects of technologies for growing, saving and processing of leguminous crops: monograph]. Vinnycja, 180 p. [in Ukrainian].

Pantsireva, G.V. (2020). Vplyv tekhnologichnykh pryjomiv vyroshhuvannja na zernovu produktyvnistj zernobobovykh kuljtur v umovakh pravoberezhnogo Lisostepu Ukrainy [The influx of technological methods on the grain productivity of leguminous crops in the minds of the right-bank forest-steppe of Ukraine]. *Naukovi dopovidi NUBIP [Scientific evidence NUBIP]*, 5 (87), 9 [in Ukrainian].

Sichkar, V.I. (2011). Metody stvorennja sortiv soji z pokrashhenym biokhimichnym skladom nasinnja [Methods for creating soybean varieties with dyed biochemical storage today]. *Kormy i korovyrobnyctvo [Feeding and feed production]*, 69, 37–44 [in Ukrainian].

Tkachyk, O.P., & Alekseev, O.O. (2022). Tekhnolohichni ta ahroekolohichni pokaznyky hrup sortiv soi za styhlistiu [Technological and agroecological indicators of groups of soybean varieties by maturity]. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Agronomy and Biology*, 48 (2), 165–172. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.22> [in Ukrainian].

Ushkarenko, V.O., Vozhegova, R.A., Goloborodko, S.P., & Kokovikhin, S.V. (2014). Metodyka poljovogho doslidu (Zroshuvane zemlerobstvo): navchaljnij posibnyk [Methodology of field survey (Zroshuvan agriculture): a basic handbook]. Kherson : Ghrij D.S., 448 p. [in Ukrainian].

Ushkarenko, V.O., Vozhegova, R.A., Gholoborodjko, S.P., & Kokovikhin, S.V. (2013). Statystychnyj analiz rezul'tativ poljovykh doslidiv u zemlerobstvi [Statistical analysis of the results of field surveys in agriculture]. Kherson : Ailant, 381 p. [in Ukrainian].

Choi, I.-Y., Hyten, D.L., & Matukumalli, L.K. (2007). A soybean transcript map: gene distribution, haplotype and SNP analysis. *Genetic*, 176 (1), 685–696. <https://doi.org/10.1534/genetics.107.070821> [in English].

Havemeier, S.M., & Slavin, J. (2020). Pulses and Legumes: Nutritional Opportunities and Challenges. *Cereal Foods World*, 65 (2), <https://doi.org/10.1094/CFW-65-2-0021> [in English].

Keller, J., Senula, A., Leunufna, S., & Grube, M. (2006). Slow growth storage and cryopreservation – tools to facilitate germplasm maintenance of vegetatively propagated crops in living plant collections. *Int. J. Refrigeration*, 29, 411–417 [in English].

Отримано: 24.07.2024

Прийнято: 30.08.2024



УДК 633.15;631.555;631.55.032; 631.572  
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.24>

## ВПЛИВ ДЕСИКАНТІВ НА ВОЛОГІСТЬ, УРОЖАЙНІСТЬ ЗЕРНА ТА ПОБІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ КУКУРУДЗИ

А. А. Засуха<sup>1</sup>

Ріст і розвиток рослин кукурудзи та її продуктивність в значній мірі залежить від елементів технології її вирощування. Одним із найменш досліджених технологічних складових є застосування десикантів та їх вплив на вологість зерна і побічної продукції кукурудзи. Метою дослідження було визначення впливу десикантів і строків їх застосування на вологість і урожайність зерна та побічної продукції кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу України. Доведено, що вологість і урожайність зерна та побічної продукції кукурудзи змінюється залежно від кліматичних умов року та строків застосування десикантів. Достовірної різниці за цими показниками між досліджуваними препаратами не виявлено. Результатами досліджень встановлено, що за першого строку застосування десикантів вологість зерна і побічної продукції кукурудзи зменшувалася на 8,1–8,6 та 11,8–12,4%, другого на 5,7–6,1 та 5,6–5,9%, а третього на 2,1–2,2 та 1,7–2,0%, порівняно із контрольними варіантами. Найбільше зменшення вологості листків та обгортки і стрижня качана рослин кукурудзи зафіксовано у перший строк внесення десикантів – 18,5–19,1% і 6,9–7,6%. А вологість стебла найбільше зменшувалася за другого строку на 14,9–15,8%.

За першого строку використання десикантів відмічено зменшення урожайності зерна на 0,11–0,12 т/га, порівняно із контролем. За другого і третього строків використання десикантів спостерігалось незначне зростання зернової продуктивності на 0,04–0,06 т/га. Спостерігалось зменшення урожайності побічної продукції на 0,20–1,16 т/га на варіантах із застосуванням десикантів, порівняно із ділянками без їх внесення (контроль). Максимальні значення урожайності зерна кукурудзи отримано за третього строку використання десикантів – 9,44–9,51 т/га, а побічної продукції за першого – 18,46–19,61 т/га. Отримані результати підтверджують важливість застосування десикантів при вирощуванні кукурудзи.

**Ключові слова:** десикація, гербіциди, препарати, строк застосування десикантів, продуктивність, основна продукція.

<sup>1</sup> здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти спеціальності 201 Агрономія (Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква)  
e-mail: [agro2020@meta.ua](mailto:agro2020@meta.ua)  
ORCID: 0009-0004-8215-4675

## EFFECT OF DESICCANTS ON MOISTURE CONTENT, YIELD OF GRAIN AND CORN BY-PRODUCTS

A. A. Zasukha

*The growth and development of maize plants and their productivity are largely dependent on the elements of maize cultivation technology. One of the least studied technological components is the use of desiccants and their effect on the moisture content of maize grain and by-products. The aim of the study was to determine the effect of desiccants and the timing of their application on the moisture content and yield of grain and maize by-products in the right-bank forest steppe of Ukraine. It was shown that the moisture content and yield of grain and maize by-products varied depending on the climatic conditions of the year and the time of desiccant application. No significant differences in these indicators were found between the preparations studied. The results of the research showed that in the first term of application of desiccants, the moisture content of grain and maize by-products decreased by 8.1–8.6 and 11.8–12.4%, in the second by 5.7–6.1 and 5.6–5.9%, and in the third by 2.1–2.2 and 1.7–2.0%, compared to the control variants. The greatest decrease in the moisture content of the leaves and sheaths and the cob of maize plants was recorded in the first period of desiccant application – 18.5–19.1% and 6.9–7.6%, respectively. And the stem moisture content decreased the most in the second term by 14.9–15.8%. During the first term of desiccant application, a decrease in grain yield of 0.11–0.12 t/ha grain was observed compared to the control. During the second and third terms of desiccant use, a slight increase in grain productivity of 0.04–0.06 t/ha was observed. A decrease in by-product yield of 0.20–1.16 t/ha was observed in the treatments with desiccant application compared to the plots without desiccant application (control). The maximum maize grain yield was obtained in the third term of desiccant application – 9.44–9.51 t/ha, and by-products in the first term – 18.46–19.61 t/ha. The obtained results confirm the necessity of using desiccants in maize cultivation.*

**Key words:** desiccation, herbicides, preparations, duration of desiccant application, productivity, main products.

### Вступ

Кукурудза (*Zea mays* L.) вирощується майже на 100 млн. га з валовим виробництвом більше 1000 млн т у світі. Міжнародні аналітики прогнозують, що в найближчі роки світовий ринок переробки кукурудзи зросте на 25% і до 2026 р. досягне рівня 1,19 млрд т (Сидякіна і Мелешко, 2022). До 2050 р. попит на кукурудзу подвоїться в країнах, що розвиваються і вона стане культурою з найвищою урожайністю в світі (Cairnsetal, 2012).

Вирощування кукурудзи на зерно відіграє стабілізуючу роль у зерновому комплексі України, оскільки в несприятливі для інших зернових культур роки, її врожайність є порівняно стабільною (Грабовський, 2010). Технологія вирощування кукурудзи повинна враховувати ґрунтово-кліматичні особливості регіону, що дозволяє найбільш повно використовувати сприятливі та послаблювати або взагалі усувати несприятливі фактори середовища. Переваги кукурудзи полягають також у можливості тривалого збирання без втрат та відсутності вилягання на високому фоні внесених добрив або родючих ґрунтах (Климчук, 2013). В той же час, кукурудза все більше використовується в якості відновлюваної сировини для виробництва різних видів біо-

палив і є досить важливою енергетичною культурою. Побічна продукція кукурудзи може бути використана, як сировина для виробництва твердого біопалива, біоетанолу другого покоління та біогазу (Соколік, 2016; Grabovskiy et al., 2023).

Різні частини побічних продуктів кукурудзи мають різні фізико-хімічні характеристики, але, у загальному, це лігноцелюзна біомаса (Geletukha et al., 2022). Лігноцелюлоза є найпоширенішим відновлюваним ресурсом на землі та є недорогою сировиною для виробництва енергії з біомаси. Солома зернових культур є важливим компонентом лігноцелюлози, яка багата на целюлозу та геміцелюлозу. Серед них побічна продукція кукурудзи становить близько  $3 \times 10^8$  т, що складає 1/3 від загальної кількості соломи у світі (Rao et al., 2023). Незважаючи на те, що більшу частину побічної продукції кукурудзи можна ефективно використати шляхом повернення в поле та для кормів тваринам, частина її все одно спалюється або викидається. Тому подальше збільшення коефіцієнта використання побічної продукції кукурудзи екологічно чистими методами є корисним для ресурсозбереження та захисту навколишнього середовища (Van et al., 2024). Коефіцієнт виходу побічної продукції кукурудзи на

зерно (масове співвідношення між побічною продукцією та зерном) залежить від багатьох факторів, насамперед від гібриду, але в середньому для кукурудзи він становить 1,37 (Гелетуха та ін., 2020). Видалення пожнивних решток з поля має бути збалансовано з мінімальним впливом на навколишнє середовище (ерозія ґрунту), підтримки рівня органічної речовини ґрунту та збереження або підвищення продуктивності культури (Wilhelm et al., 2004).

Період збирання кукурудзи визначається рівнем вологості зерна. Тому перед початком збирання аграрії визначають вологість зерна та його стиглість, враховуючи терміни сівби та групу стиглості гібриду. Під час збирання врожаю побічна продукція кукурудзи часто більш волога (більше 30%), ніж зерно, але після збирання зерна волога з біомаси інтенсивно випаровується (Geletukha et al., 2022). Крім того, вологість решток кукурудзи сильно залежить від погодних умов під час збирання врожаю, а інтенсивні опади можуть призвести до дуже несприятливих умов для збирання біомаси і подальшого її енергетичного використання (Гелетуха та ін., 2020). Вологість різних частин кукурудзи неоднорідна і швидко зменшується через 120 днів від дати сівби (Igathinathane et al., 2004).

У пшениці, контрольованою обробкою десикантами після наливу зерна, можна регулювати взаємозв'язок між старінням і ремобілізацією та прискорювати формування зерна (Yang & Zhang, 2006). Стебло кукурудзи зберігає велику кількість вуглеводів під час вегетативної стадії розвитку рослин. Ремобілізація цих резервів сприяє наливу зерна кукурудзи. Прискорення дегідратації зерен кукурудзи під час збирання без зниження врожайності має потенційну цінність для виробництва гібридного насіння кукурудзи (Kumar et al., 2019).

Для зменшення вологості основної продукції та більш рівномірного дозрівання рослин сільськогосподарських культур, на момент збирання врожаю застосовують десикацію посівів. Після десикації зменшуються витрати на збирання врожаю, обмежується поширення хвороб, стає можливим оптимізація термінів збирання врожаю. Десикація не впливає на якість насіння, але його схожість та біологічний потенціал урожайності культур зберігається (Сторчоус, 2018). Для десикації використовують препарати або гербіциди з різним механізмом дії на основі диквату, гліфо-

сату та гліофосинату амонію (Нінуа, 2017; Грабовський, 2021; Грабовський, 2017; Мостипан і Грабовський, 2023). Однак використання десикації штучно прискорює дозрівання врожаю, що може мати негативний вплив на врожайність сільськогосподарських культур. Але слід відмітити, що даних по впливу десикантів на урожайність і вологість зерна кукурудзи та особливо побічної продукції в літературних джерелах наведено недостатньо, що і визначає актуальність наших досліджень.

Метою дослідження було визначення впливу десикантів і строків їх застосування на вологість і урожайність зерна та побічної продукції кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу України.

### Матеріал і методи

Дослідження проводили в 2022–2023 рр. у ПСПАгрофірма «Світанок» Білоцерківського району Київської області за наступною схемою: Фактор А. Десиканти 1. Без десикації (контроль); 2. Реглон Супер (3 л/га); 3. Раундап Макс (3 л/га); 4. Баста (2 л/га). Фактор В. Строк застосування десикантів за вологості зерна, % 1. 40; 2. 30; 3. 20. Висівали гібрид кукурудзи СИ Октеон (ФАО 380). Густота стояння рослин становила 70 тис. шт./га. Площа облікової ділянки – 294 м<sup>2</sup>. Повторність – триразова. Розміщення варіантів послідовне. Ґрунт дослідних ділянок – чорнозем глибокий середньосуглинковий на лесовидному суглинку.

Облік врожаю та визначення вологості зерна і побічної продукції (ПП) проводили відповідно до варіантів досліду через 5–7 діб після застосування десикантів, а у останній період обліків застосовували комбайнове збирання з кожної ділянки. Урожайність зерна кукурудзи перераховували на вологість 14%. Вміст вологи у зерні кукурудзи визначали автоматичним вологоміром «Wile 78», а побічної продукції термостатно-ваговим методом з відбором зразків та їх висушуванням в сушильній шафі при температурі +105 °С до постійної маси, з перерахунком на 1 га.

Технологія вирощування кукурудзи загальноприйнята для Правобережного Лісостепу України, крім прийомів, які були поставлені на вивчення. Сівбу кукурудзи проводили у третій декаді квітня за температури ґрунту на глибині загортання насіння 8–10 °С. Мінеральні добрива N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> (нітроамофоска) вносили восени, а азотні N<sub>40</sub> (аміачна селітра) – перед сівбою кукурудзи. Захист від бур'янів включав

застосування гербіциду Майстер Пауер 57,5 OD (1,25 л/га) у фазі 3–4 листків кукурудзи. Дослідження проводили згідно методичних рекомендацій (Єщенко, 2014).

### Результати

Вологість зерна і побічної продукції кукурудзи залежала від кліматичних умов у роки досліджень. У вересні 2022 р. кількість опадів перевищувала середньобагаторічні показники на 47,3 мм, що вплинуло на збільшення вологості зерна кукурудзи, яка залежно від варіанту досліду була в межах 18,5–40,5% (табл. 1). У 2023 р. значна кількість опадів спостерігалася лише в 1-й декаді вересня і показники вологості зерна зменшилися до 17,4–39,6%. У середньому, за два роки на контрольному варіанті вологість зерна кукурудзи становила 40,1, 30,8 і 20,1%, відповідно за першого, другого і третього періодів обліків.

На першому варіанті застосування десикантів (за вологості зерна 40%) відмічене найбільше зниження вологості зерна кукурудзи на 8,1–8,6%, порівняно із ділянками без їх використання (контроль).

Обробка посівів кукурудзи десикантами в другий строк (за вологості зерна 30%) знижувало вологість зерна кукурудзи на 5,7–6,1%, до 24,7–25,1%. Обприскування рослин у третій строк (за вологості зерна 20%) мало найменшу ефективність на вологість зерна. Вона становила 18,0%, що менше контрольного варіанту лише на 2,2%.

Не відмічено достовірної різниці, в роки досліджень, за вологістю зерна між варіантами із використанням десикантів за всіх строків їх застосування, вона була в межах похибки ( $НІР_{05}$  в 2022 р. – 1,8, у 2023 р. – 2,1%). Лише при використанні Реглон Супер (3 л/га) відмічено тенденцію до більшого зменшення вологості зерна, порівняно із іншими препаратами.

Застосування десикації посівів по різному впливало на зменшення вологості ПП та окремих структурних частин рослин кукурудзи. За першого строку їх внесення, вологість рослин кукурудзи зменшувалася на 11,8–12,4%, другого – 5,6–5,9%, третього – 1,7–2,0%, порівняно із контролем (табл. 2). Найбільше зменшення вологості листків та обгорток і стрижня качана зафіксовано у перший строк внесення десикантів (за вологості зерна 40%) – 18,5–19,1% і 6,9–7,6%.

У наступні строки проведення десикації їх вологість зменшувалася несуттєво, в межах 0,2–0,9%. Вологість стебла найбільше зменшувалася за другого строку застосування десикантів (за вологості зерна 30%) – на 14,9–15,8%. За третього строку вологість стебла зменшилася лише на 4,6–5,4%. Як і вологість зерна, так і вологість побічної продукції не залежала від виду десиканта.

Встановлено, що урожайність основної та побічної продукції кукурудзи залежала від року досліджень та строків застосування

Таблиця 1

Вологість зерна кукурудзи залежно від застосування десикантів

Десиканти (А)	Строк застосування десикантів за вологості зерна, % (В)	2022 р.	2023 р.	Середня
Без десикації (контроль)	40	40,5	39,6	40,1
	30	31,2	30,4	30,8
	20	20,4	19,8	20,1
Реглон Супер (3 л/га)	40	32,4	30,5	31,5
	30	25,3	24,1	24,7
	20	18,2	17,7	18,0
Раундап Макс (3 л/га)	40	32,7	30,8	31,8
	30	25,5	24,3	24,9
	20	18,3	17,7	18,0
Баста (2 л/га)	40	32,6	31,3	32,0
	30	25,6	24,6	25,1
	20	18,5	17,4	18,0
$НІР_{05}$ , для	А	1,8	2,1	
	В	5,2	5,7	
	АВ	7,4	8,1	

Таблиця 2

Вологість побічної продукції (ПП) кукурудзи залежно від застосування десикантів  
(середнє за 2022–2023 рр.)

Десиканти (А)	Строк застосування десикантів за вологості зерна, % (В)	Структурні частини рослини			Рослина без зерна
		стебло	листки	обгортки і стрижень качана	
Без десикації (контроль)	40	78,9	61,7	46,3	62,3
	30	74,7	18,2	12,7	35,2
	20	39,6	11,8	10,5	20,6
Реглон Супер (3 л/га)	40	68,7	42,6	38,7	50,0
	30	58,9	17,1	12,0	29,3
	20	34,2	11,4	10,1	18,6
Раундап Макс (3 л/га)	40	69,2	42,9	39,2	50,4
	30	59,3	17,3	12,0	29,5
	20	35,0	11,5	10,2	18,9
Баста (2 л/га)	40	69,0	43,2	39,4	50,5
	30	59,8	17,1	11,8	29,6
	20	34,6	11,2	10,3	18,7
НІР <sub>05</sub> , для	А	5,6			
	В	6,8			
	АВ	12,6			

Таблиця 3

Урожайність зерна кукурудзи залежно від застосування десикантів  
(в перерахунку на 14 % вологість зерна)

Десиканти (А)	Строк застосування десикантів за вологості зерна, % (В)	2022 р.	2023 р.	Середня
Без десикації (контроль)	40	7,40	9,01	8,21
	30	8,03	9,77	8,90
	20	8,52	10,36	9,44
Реглон Супер (3 л/га)	40	7,36	8,84	8,10
	30	8,09	9,82	8,96
	20	8,53	10,41	9,47
Раундап Макс (3 л/га)	40	7,33	8,89	8,11
	30	8,13	9,80	8,97
	20	8,56	10,38	9,47
Баста (2 л/га)	40	7,38	8,80	8,09
	30	8,11	9,80	8,96
	20	8,55	10,46	9,51
НІР <sub>05</sub> , для	А	1,4	1,6	
	В	0,6	0,8	
	АВ	2,2	2,3	

десикантів (табл. 3 і 4). Вища урожайність зерна була у 2023 р. – 9,01–10,46 т/га, а у 2022 р. вона зменшилася на 17,0–19,6% і становила 7,40–8,55 т/га.

На першому варіанті використання десикантів (при вологості зерна 40%) відмічено зменшення урожайності зерна на 0,11–0,12 т/га, порівняно із контролем.

Це підтверджується і даними досліджень А. Шинкарук і В. Лихочвора, які відмічають, що проведення десикації при вологості зерна 40% знижує врожайність зерна кукурудзи за рахунок припинення фотосинтезу, синтезу та обміну речовин, штучного пришвидшення закінчення періоду вегетації (Shynkaruk & Lykhochvor, 2021).

За другого і третього строків використання десикантів спостерігалось незначне зростання зернової продуктивності на 0,04–0,06 т/га. Тобто, на відміну від вологості зерна, вплив десикантів за пізніх строків внесення на продуктивність кукурудзи був незначним. Максимальні значення урожайності зерна отримано за третього строку використання десикантів (при вологості зерна 20%) – 9,44–9,51 т/га.

В середньому, за два роки при застосуванні Реглон Супер (3 л/га), при вологості зерна 40% урожайність зерна становила 8,10 т/га, за другого строку (при вологості зерна 30%) – 8,96 т/га і третього (при вологості зерна 20%) – 9,93 т/га. Обробка посівів кукурудзи Раундап Макс (3 л/га) дозволила отримати показники урожайності зерна на рівні 8,11, 8,97 і 9,92 т/га, а препаратом Баста (2 л/га) – 8,09, 8,96 і 9,96 т/га. Тобто достовірної різниці між досліджуваними десикантами за врожайністю зерна не виявлено.

Урожайність побічної продукції (ПП) кукурудзи мала вищі показники у більш

сприятливому 2023 р. – 14,59–20,94 т/га, а у 2022 р. вона зменшилася до 12,63–18,28 т/га (табл. 4).

На відміну від зерна, урожайність ПП більш суттєво залежала від строків проведення десикації посівів кукурудзи. Так, найвищі значення отримано за першого строку (при вологості зерна 40%) – 18,46–19,61 т/га, за другого (при вологості зерна 30%) – 15,45–16,11 т/га, а третього – 13,61–14,01 т/га. За рахунок зменшення вологості рослин кукурудзи та окремих її структурних елементів відмічено зменшення урожайності ПП на 0,20–1,16 т/га на варіантах із застосуванням десикантів, порівняно із ділянками без їх внесення (контроль). Серед препаратів дещо вища урожайність ПП отримана за використання Реглон Супер (3 л/га) – 15,92 т/га, а при обприскуванні посівів Раундап Макс (3 л/га) і Баста (2 л/га) вона становила 15,90 і 15,88 т/га. Але, як і по урожайності зерна достовірної різниці за урожайністю ПП між різними препаратами не відмічено.

За результатами дисперсійного аналізу було встановлено, що на вологість зерна кукурудзи в більшій мірі впливають десиканти (42,3%) і строк їх застосування (36,2%) (рис. 1). В той час, як на вологість ПП вплив самих десикантів був більшим (48,6%), ніж строки їх використання (29,1%).

На урожайність зерна кукурудзи в значній мірі впливали строки проведення десикації

Таблиця 4

Урожайність побічної продукції (ПП) кукурудзи залежно від застосування десикантів

Десиканти (А)	Строк застосування десикантів за вологості зерна, % (В)	2022 р.	2023 р.	Середня
Без десикації (контроль)	40	18,28	20,94	19,61
	30	15,02	17,20	16,11
	20	13,06	14,96	14,01
Реглон Супер (3 л/га)	40	17,16	19,75	18,46
	30	14,54	16,42	15,48
	20	12,88	14,75	13,82
Раундап Макс (3 л/га)	40	17,23	19,71	18,47
	30	14,52	16,38	15,45
	20	12,85	14,68	13,77
Баста (2 л/га)	40	17,25	19,78	18,52
	30	14,55	16,48	15,52
	20	12,63	14,59	13,61
НІР <sub>05</sub> , для	А	2,6	3,4	
	В	1,3	1,5	
	АВ	3,6	3,8	



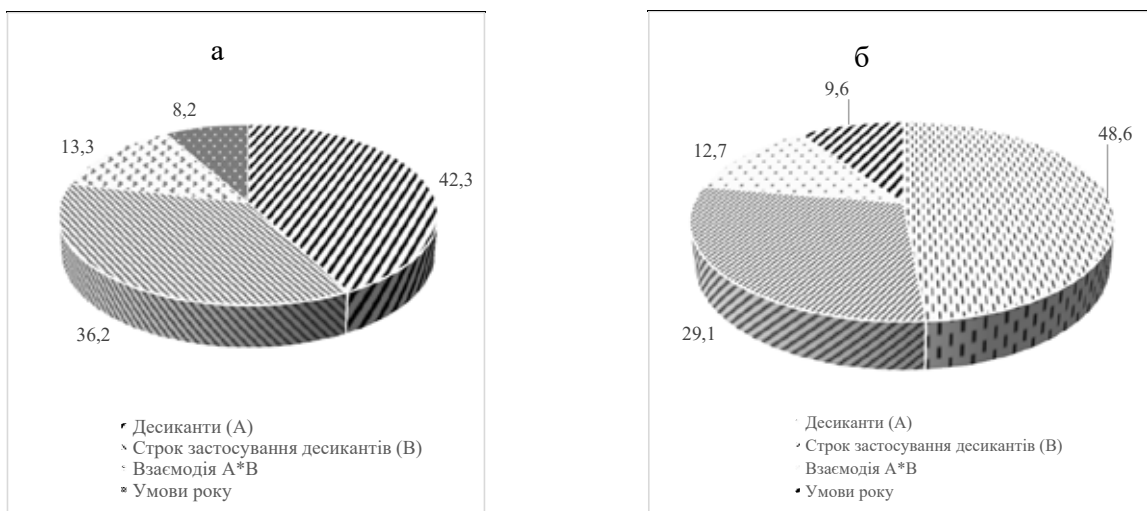


Рис. 1. Частки впливу факторів на вологість зерна (а) і побічної продукції кукурудзи (б)

кації посівів (46,4%) та самі препарати (29,6%) (рис. 2). Урожайність ПП на 49,7% залежала від термінів внесення десикантів і на 26,4% від препаратів. На вологість і урожайність зерна та побічної продукції суттєвий вплив мали також погодні умови досліджень.

#### Обговорення

Вологість зерна є обмежуючим фактором при комбайновому збиранні. Низька вологість зерна при збиранні знижує витрати на післязбиральну сушку зерна та втрату якості насіння під час зберігання. Передзбиральна десикація економічно та ефективно дозволяє своєчасно зібрати врожай за несприятливих погодних умов (Wang & Li, 2017).

Дослідженнями А. Шинкарук і В. Лихочвора встановлено, що проведення десикації позитивно впливало на передзбиральну вологість кукурудзи в усіх варіантах дослідження. Найменшу вологість зерна 20,1% кукурудзи отримали при застосуванні Раундап Макс у нормі 3,2 л/га у варіанті обробки рослин при вологості 40%. Найбільше зниження вологості – 6,8% та відсутність впливу на врожайність отримали при використанні препарату Раундап Макс у нормі 3,2 л/га при настанні чорної точки (Shynkaruk & Lykhochvor, 2021).

У дослідженнях, проведених в університеті Мінесота (США) вносили гліфосат в дозах 0,4, 0,8, 1,3 і 1,7 кг/га під кукурудзу до фізі-

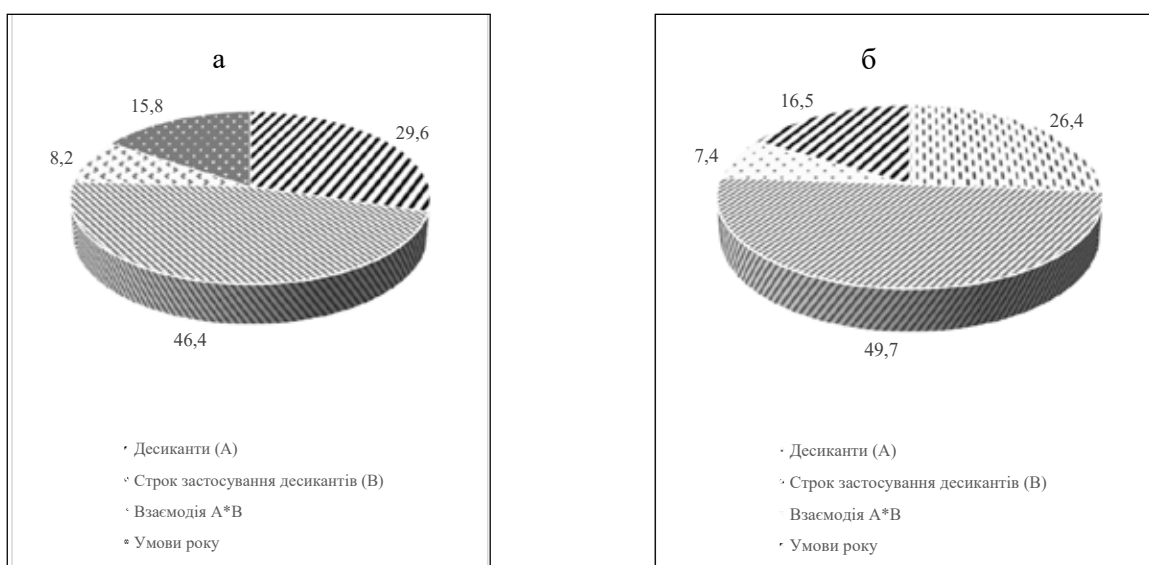


Рис. 2. Частки впливу факторів на урожайність зерна (а) і побічної продукції кукурудзи (б)

ологічної стиглості зерна (вологість 44–47%) і у фізіологічній стиглості (вологість зерна 35–39%). Через три тижні після обробки, вологість зерна на варіантах оброблених у фізіологічній зрілості була на 2,3–6,9% нижчою, ніж у рослин, оброблених до фізіологічної зрілості. Жодна з обробок гліфосатом не зменшила врожайність зерна кукурудзи (Alcantara & Wyse, 1988). Своєчасне застосування гліфосату, як десиканта, знижує вміст вологи в зерні на 22–35%, не спричиняючи втрати врожайності та якості. При цьому він негативно впливає на фотосинтез, сприяючи дозріванню та старінню листків. У той же час, він також посилює ремобілізацію неструктурних вуглеводів (розчинних цукрів і крохмалю) з вегетативних органів до зерна (Zhao et al., 2020).

Застосування гліфосату при рівні вологості зерна кукурудзи 47% призводило до значного зниження вологості та маси насіння під час збирання. Коли посіви кукурудзи обробляли при вологості зерна від 30 до 15%, гліфосат не впливав на вилягання, врожайність, вологість насіння або масу насіння. Застосування гліфосату не впливало на схожість насіння кукурудзи. Але, обробка посівів при вологості зерна 35% і вище призводила до суттєвого зниження енергії проростання насіння (Thomason & Battaglia, 2020).

Результати досліджень W. Сао та ін. свідчать, що застосування Диквату на стадії R5 зерна прискорює дегідратацію кукурудзи. Вологість зменшувалася на 2,37%, 2,01% і 2,44%, залежно від концентрації препарату. Після внесення Диквату урожайність зерна, структура врожаю, вміст крохмалю, білка та олії кукурудзи не змінилися (Сао et al., 2021).

В умовах Бразилії було проведено оцінку ефективності застосування гербіцидів Паракват і Дикват, як десикантів у посівах кукурудзи за 14 і 7 днів до фізіологічної стиглості зерна кукурудзи та 7 днів після. Встановлено, що десиканти не впливали на висоту рослин, продуктивність та якість зерна, хоча візуально спостерігалось, що Паракват діє швидше, ніж Дикват, руйнуючи тканину листків рослин. Статистичні відмінності, виявлені між двома десикантами показали, що Дикват був ефективнішим, ніж Паракват. Застосування десикантів за 14 днів до фізіологічної стиглості зерна кукурудзи призвело до зниження врожаю зерна через зменшення маси сухої речовини зерна (Magalhães et al., 2002).

R. W. Gesch та ін. виявлено, що застосування хлорату натрію, як десиканта кукурудзи на ранній (D1), середній (D2) і фізіологічній (D3) фазах розвитку зерна, прискорило збір урожаю кукурудзи на 1–3 тижні, порівняно із ділянками без їх використання. Обробки у фазу D2 і D3 не вплинули на врожайність зерна кукурудзи, але вона зменшилася на 16% за використання у фазу D1 (Gesch et al., 2021).

Гербіциди Паракват, Паракват + Діурон та Глюфосинат амонію зменшують вологість листків та волоті, проте лише Глюфосинат амонію зменшує вологість стебла сорго. Паракват + Діурон має кращий вплив на втрату вологи біомасою рослин і тому має більший потенціал для використання для передзбиральної десикації. Гербіциди не впливають на теплотворну здатність біомаси сорго. Однак застосування контактних гербіцидів сприяє швидшій дефоліації, а тому збирання врожаю слід проводити протягом 14 днів після їх застосування (de Barros et al., 2020).

### Висновки

Встановлено, що вологість зерна і побічної продукції кукурудзи залежала від кліматичних умов років досліджень та строків застосування десикантів. За першого строку застосування десикантів вологість зерна і побічної продукції кукурудзи зменшувалася на 8,1–8,6 та 11,8–12,4%, другого на 5,7–6,1 та 5,6–5,9%, а третього на 2,1–2,2 та 1,7–2,0%, порівняно із контрольними варіантами. Найбільше зменшення вологості листків та обгорток і стрижня качана рослин кукурудзи зафіксовано у перший строк внесення десикантів – 18,5–19,1% і 6,9–7,6%. А вологість стебла найбільше зменшувалася за другого строку на 14,9–15,8%.

Вищі показники урожайності зерна і побічної продукції були у 2023 р. – 9,01–10,46 та 14,59–20,94 т/га, а у 2022 р. вони зменшилися на 17,0–23,4%. За першого строку використання десикантів відмічено зменшення урожайності зерна на 0,11–0,12 т/га, порівняно із контролем. За другого і третього строків спостерігалось незначне зростання зернової продуктивності на 0,04–0,06 т/га. Відмічено зменшення урожайності побічної продукції на 0,20–1,16 т/га на варіантах із застосуванням десикантів, порівняно із ділянками без їх внесення (контроль). Максимальні значення урожайності зерна кукурудзи отримано за третього строку використання десикантів – 9,44–9,51 т/га, а побічної продукції за першого – 18,46–19,61 т/га.

На вологість зерна і побічної продукції кукурудзи, в більшій мірі впливають десиканти (42,3 і 48,6%) та строк їх застосування (36,2 і 29,1%). Урожайність зерна і побічної продукції кукурудзи залежать від строків проведення десикації посівів (46,4 і 49,7%) та препаратів (29,6 і 26,4%).

Не відмічено достовірної різниці за вологістю і урожайністю зерна та побічної продукції кукурудзи між варіантами із використанням десикантів. Лише при використанні Реглон Супер (3 л/га) спостерігалася тенденція до зменшення вологості та деякого зростання урожайності, порівняно із іншими препаратами.

### Список використаної літератури

- Гелетуха Г.Г., Драгнев С.В., Железна Т.А., Баштовий А.І. Аналіз виробництва пелет та брикетів з побічної продукції кукурудзи на зерно. *Аналітична записка UABIO*. 2020. № 23. 42 с.
- Грабовський М.Б. Проблеми виробництва зерна кукурудзи у світі та в Україні. *Економіка та управління АПК*. 2010. № 71. С. 56–61.
- Грабовський М.Б. Варіанти контролю бур'янів на сумісних посівах. *Агробізнес Сьогодні*. 2021. № 14. С. 28–30.
- Грабовський М.Б. Вплив заходів контролювання чисельності бур'янів на ріст та розвиток кукурудзи. *Агробіологія*. 2017. № 2 (135). С. 45–54.
- Климчук О.В. Ефективність комплексного використання кукурудзи в біоенергетиці. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. Вип. 19. С. 150–154.
- Мостипан О.В., Грабовський М.Б. Вплив гербіцидів на формування урожайності зерна та якісних показників сортів сої. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 132. С. 132–141. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.132.17>.
- Нінуа О. Заповіді успішної десикації. *Agroexpert*. 2017. № 8. С. 30–34.
- Основи наукових досліджень в агрономії / за ред. Єщенко В. О. Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К», 2014. 332 с.
- Сидякіна О.В., Мелешко І.О. Ефективність застосування мінеральних добрив у посівах кукурудзи на зерно (огляд літератури). *Таврійський науковий вісник*. 2022. № 128. С. 196–203. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.128.27>.
- Соколік С.П. Перспективи використання кукурудзи на зерно в якості біопалива. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2016. Вип. 173. С. 168–176.
- Сторчоус І. Правила десикації посівів зернових. *Агробізнес сьогодні*. 2018. №14. С. 12–13. [Електронний ресурс]. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/11950-pravyla-desykatsii-posiviv-zernovykh.html> (дата звернення 22.08.2024)
- Alcantara E., Wyse, D. Glyphosate as harvest aid for corn (*Zea mays*). *Weed Technology*. 1988. Т. 2. № 4. P. 410–413. <https://doi.org/10.1017/S0890037X00032176>.
- Ban Q., Wang J., Guo P., Yue J., Zhang L., Li J. Improved biohydrogen production by co-fermentation of corn straw and excess sludge: Insights into biochemical process, microbial community and metabolic genes. *Environmental Research*. 2024. № 256. 119171. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119171>.
- Cairns J.E., Sonder K., Zaidi P.H., Verhulst N., Mahuku G., Babu R., Prasanna B.M. Maize production in a changing climate: impacts, adaptation, and mitigation strategies. *Advances in agronomy*. 2012. № 114. P. 1–58.
- Cao W., Wang Z., Li T., Mo Y., Wang Y., Tan W. Evaluation of the Potential of Diquat (1, 1'-Ethylene-2, 2'-bipyridyl) to Assist Maize Mechanical Harvesting As a Desiccant. *ACS Agricultural Science & Technology*. 2021. № 1 (6). P. 589–596. <https://doi.org/10.1021/acsagscitech.1c00054>.
- De Barros A.F., Pimentel L.D., de Freitas F.C.L., Cecon P.R., Tomaz A.C., Biesdorf E.M. Pre-harvest desiccation in biomass sorghum with herbicides. *Revista Ceres*. 2020. № 67 (5). P. 337–344. <https://doi.org/10.1590/0034-737X202067050001>.
- Geletukha G., Drahnev S., Zheliezna T., Karampinis M. Maize residues to Energy. *Bioenergy Association of Ukraine*. 2022. 48 p.
- Gesch R.W., Wells M.S., Hard A. Desiccation of corn allows earlier direct seeding of winter camelina in the northern corn belt. *Crop Science*. 2021. № 61. P. 2787–2797. <https://doi.org/10.1002/csc2.20549>.

- Grabovskiy M., Lozinskyi M., Grabovska T. Roubik H. Green mass to biogas in Ukraine – bio-energy potential of corn and sweet sorghum. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2023. № 13. P. 3309–3317. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01316-0>.
- Igathinathane C., Womac A. R., Sokhansanj S., Pordesimo L. O. Vertical Mass and Moisture Distribution in in Standing Corn Stalks // 2004 ASAE/CSAE Annual International Meeting (Ottawa, Ontario, Canada, 1-4 August, 2004). 20 p.
- Kumar R., Bishop E., Bridges W.C., Tharayil N., Sekhon R.S. Sugar partitioning and source-sink interaction are key determinants of leaf senescence in maize. *Plant Cell Environ*. 2019. № 42. P. 2597–2611. <https://doi.org/10.1111/pce.13599>.
- Magalhães P.C., Durães F.O.M., Karam D. Eficiência dos dessecantes paraquat e diquat na antecipação da colheita do milho. *Planta Daninha*. 2002. № 20 (3). P. 449–455.
- Rao Y., Zhou S., Huang Y., Dou S., Dai H., Wen Y. Advances in research involving deep incorporation of enriched straw on soil quality. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*. 2023. № 31 (10). P. 1579–1587. <https://doi.org/10.12357/cjea.20230145>.
- Shynkaruk L., Lykhochvor V. Effect of Desiccant Application on Pre- Harvest Humidity of Medium-Early Hybrid LG 3258 Corn in Western Forest-Steppe Conditions. 2021. *Scientific horizons*. № 24 (12). P. 32–38. [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(12\).2021.32-38](https://doi.org/10.48077/scihor.24(12).2021.32-38).
- Thomason W., Battaglia M. Early defoliation effects on corn plant stands and grain yield. *Agronomy Journal*. 2020. № 112 (6). P. 5024–5032. <https://doi.org/10.1002/agj2.20402>.
- Wang K., Li S. Analysis of influencing factors on kernel dehydration rate of maize hybrids. *Scientia Agricultura Sinica*. 2017. № 50. P. 2027–2035.
- Wilhelm W.W., Johnson J.M., Hatfield J.L., Voorhees W.B., Linden D.R. Crop and soil productivity response to corn residue removal: a literature review. *Agronomy journal*. 2004. № 96 (1). P. 1–17. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.1000a>.
- Yang J., Zhang J. Grain filling of cereals under soil drying. *New Phytol*. 2006. № 169. P. 223–236. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01597.x>.
- Zhao L., Xie L., Huang J., Su Y., Zhang C. Proper glyphosate application at post-anthesis lowers grain moisture content at harvest and reallocates non-structural carbohydrates in maize. *Frontiers in plant science*. 2020. № 11. 580883. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.580883>.

## References

- Gheletukha, Gh., Draghnjev, S.V., Zheljezna, T.A., & Bashtovyy, A.I. (2020). Analiz vyrobnyctva pelet ta bryketiv z pobichnoji produkciji kukurudzy na zerno [Analysis of the production of pellets and briquettes from by-products of corn for grain]. *Analitychna zapyska UABIO [UABIO Analytical Note]*, 23, 42 [in Ukrainian].
- Ghrabovskiy, M.B. (2010). Problemy vyrobnyctva zerna kukurudzy u sviti ta v Ukraini [Problems of corn grain production in the world and in Ukraine]. *Ekonomika ta upravlinnja APK [Economy and management of agriculture]*, 71, 56–61 [in Ukrainian].
- Ghrabovskiy, M.B. (2021). Varianty kontrolju bur'janiv na sumisnykh posivakh [Variants of weed control in intercropping]. *Aghrobiznes Sjoghodni [Agribusiness Today]*, 14, 28–30 [in Ukrainian].
- Ghrabovskiy, M.B. (2017). Vplyv zakhodiv kontroljuvannja chyseljnosti bur'janiv na rist ta rozvytok kukurudzy [The influence of weed control measures on the growth and development of corn]. *Aghrobiologhija [Agrobiology]*, 2 (135), 45–54 [in Ukrainian].
- Klymchuk, O.V. (2013). Efektyvnistj kompleksnogho vykorystannja kukurudzy v bioenerghetyci [Effectiveness of the integrated use of corn in bioenergy]. *Naukovi praci Instytutu bioenerghetychnykh kuljtur i cukrovyykh burjakiv [Scientific works of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet]*, 19, 150–154 [in Ukrainian].
- Mostypan, O.V., & Ghrabovskiy, M.B. (2023). Vplyv gherbicydiv na formuvannja urozhajnosti zerna ta jakisnykh pokaznykiv sortiv soji [The effect of herbicides on the formation of grain yield and quality indicators of soybean varieties]. *Tavrijskyy naukovyy visnyk [Taurian Scientific Bulletin]*, 132, 132–141 <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.132.17> [in Ukrainian].
- Ninua, O. (2017). Zapovidi uspishnoji desykaciji [Precepts of successful desiccation]. *Agroexpert*, 8, 30–34 [in Ukrainian].
- Jeshhenko, V. (Ed.) (2014). Osnovy naukovyykh doslidzhenj v aghronomiji [Basics of scientific research in agronomy]. Vinnycja [in Ukrainian].
- Sydjakina, O.V., & Mjeljeshko, I.O. (2022). Efektyvnistj zastosuvannja mineralnykh dobryv u posivakh kukurudzy na zerno (oghljad literatury) [Effectiveness of using mineral fertilizers in sow-

ing corn for grain (literature review)]. *Tavrijskyj naukovyj visnyk [Taurian Scientific Bulletin]*, 128, 196–203. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.128.27> [in Ukrainian].

Sokolik, S.P. (2016). Perspektyvy vykorystannja kukurudzy na zerno v yakosti biopalyva [Prospects for using corn for grain as biofuel]. *Visnyk Kharkivskogo nacionalnogo tekhnichnogo universytetu sil'skogo gospodarstva imeni Petra Vasylenka [Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture]*, 173, 168–176 [in Ukrainian].

Storchous, I. (2018). Pravyla desykaciji posiviv zernovykh [Rules of desiccation of grain crops]. *Aghrobiznes sjoghodni [Agribusiness today]*, 14, 12–13. [Electronic resource] URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/11950-pravyla-desykatsii-posiviv-zernovykh.html> (access date 22.08.2024) [in Ukrainian].

Alcantara, E., & Wyse, D. (1988). Glyphosate as harvest aid for corn (*Zea mays*). *Weed Technology*, 2 (4), 410–413. <https://doi.org/10.1017/S0890037X00032176> [in English].

Ban, Q., Wang, J., Guo, P., Yue, J., Zhang, L., & Li, J. (2024). Improved biohydrogen production by co-fermentation of corn straw and excess sludge: Insights into biochemical process, microbial community and metabolic genes. *Environmental Research*, 256, 119171. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119171> [in English].

Cairns, J.E., Sonder, K., Zaidi, P.H., Verhulst, N., Mahuku, G., Babu, R., & Prasanna, B.M. (2012). Maize production in a changing climate: impacts, adaptation, and mitigation strategies. *Advances in agronomy*, 114, 1–58 [in English].

Cao, W., Wang, Z., Li, T., Mo, Y., Wang, Y., & Tan, W. (2021). Evaluation of the Potential of Diquat (1, 1'-Ethylene-2, 2'-bipyridyl) to Assist Maize Mechanical Harvesting As a Desiccant. *ACS Agricultural Science & Technology*, 1 (6), 589–596. <https://doi.org/10.1021/acsagcitech.1c00054> [in English].

De Barros, A.F., Pimentel, L.D., de Freitas, F.C.L., Cecon, P.R., Tomaz, A.C., & Biesdorf, E.M. (2020). Pre-harvest desiccation in biomass sorghum with herbicides. *Revista Ceres*, 67 (5), 337–344. <https://doi.org/10.1590/0034-737X202067050001> [in English].

Geletukha, G., Drahnev, S., Zheliezna, T., & Karampinis, M. (2022). Maize residues to Energy. *Bioenergy Association of Ukraine*, 48 p. [in English].

Gesch, R.W., Wells, M.S., & Hard, A. (2021). Desiccation of corn allows earlier direct seeding of winter camelina in the northern corn belt. *Crop Science*, 61, 2787–2797. <https://doi.org/10.1002/csc.2.20549> [in English].

Grabovskiy, M., Lozinskyi, M., Grabovska, T., & Roubik, H. (2023). Green mass to biogas in Ukraine – bioenergy potential of corn and sweet sorghum. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13, 3309–3317. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01316-0> [in English].

Igathinathane, C., Womac, A.R., Sokhansanj, S., & Pordesimo, L.O. (2004). Vertical Mass and Moisture Distribution in in Standing Corn Stalks. *ASAE/CSAE Annual International Meeting (Ottawa, Ontario, Canada, 1–4 August, 2004)*. 20 p. [in English].

Kumar, R., Bishop, E., Bridges, W.C., Tharayil, N., & Sekhon, R.S. (2019). Sugar partitioning and source-sink interaction are key determinants of leaf senescence in maize. *Plant Cell Environ*, 42, 2597–2611. <https://doi.org/10.1111/pce.13599> [in English].

Magalhães, P.C., Durães, F.O.M., & Karam, D. (2002). Eficiência dos dessecantes paraquat e diquat na antecipação da colheita do milho. *Planta Daninha*, 20 (3), 449–455 [in English].

Rao, Y., Zhou, S., Huang, Y., Dou, S., Dai, H., & Wen, Y. (2023). Advances in research involving deep incorporation of enriched straw on soil quality. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 31 (10), 1579–1587. <https://doi.org/10.12357/cjea.20230145> [in English].

Shynkaruk, L., & Lykhochvor, V. (2021). Effect of Desiccant Application on Pre- Harvest Humidity of Medium-Early Hybrid LG 3258 Corn in Western Forest-Steppe Conditions. *Scientific horizons*, 24 (12), 32–38. [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(12\).2021.32-38](https://doi.org/10.48077/scihor.24(12).2021.32-38) [in English].

Thomason, W., & Battaglia, M. (2020). Early defoliation effects on corn plant stands and grain yield. *Agronomy Journal*, 112 (6), 5024–5032. <https://doi.org/10.1002/agj2.20402> [in English].

Wang, K., & Li, S. (2017). Analysis of influencing factors on kernel dehydration rate of maize hybrids. *Scientia Agricultura Sinica*, 50, 2027–2035 [in English].

Wilhelm, W.W., Johnson, J.M., Hatfield, J.L., Voorhees, W.B., & Linden, D.R. (2004). Crop and soil productivity response to corn residue removal: a literature review. *Agronomy journal*, 96 (1), 1–17. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.1000a> [in English].

Yang, J., & Zhang, J. (2006). Grain filling of cereals under soil drying. *New Phytol*, 169, 223–236. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01597.x> [in English].

Zhao, L., Xie, L., Huang, J., Su, Y., & Zhang, C. (2020). Proper glyphosate application at post-anthesis lowers grain moisture content at harvest and reallocates non-structural carbohydrates in maize. *Frontiers in plant science*, 11, 580883. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.580883> [in English].

Отримано: 25.07.2024  
Прийнято: 09.08.2024



УДК 635.64:631.559:631.81  
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.25>

## ВПЛИВ УДОБРЕННЯ НА ВРОЖАЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ SOLANUM LYCOPERSICUM L. В УМОВАХ ПРИКАРПАТТЯ

У. М. Карбівська<sup>1</sup>, О. Д. Турак<sup>2</sup>, А.Г. Майданський<sup>3</sup>

*У статті висвітлено результати досліджень щодо впливу удобрення на врожайність та якість томату за вирощування на кислому дерново-підзолистому ґрунті. Дослідження проводились на дослідному полігоні кафедри лісового і аграрного менеджменту Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.*

*Мета досліджень полягала у вивченні впливу різних систем удобрення на врожайність і якість томатів за вирощування на дерново-підзолистому ґрунті Прикарпаття. Методи дослідження: польовий, лабораторний, математичний, статистичний та розрахунковий.*

*Дослідження показали, що на 3-му і 4-му варіантах, де систематично вносили Плантафол Балагро та Rost, було сформовано 6,2 та 6,1 плоди, що в 2,2 рази більше порівняно з контролем. На 90-й день середній приріст кількості плодів становив 3–4 штуки. Найменші значення були зафіксовані у другому варіанті та на контролі (відповідно 5,7 та 5,2 штуки), тоді як найбільша кількість плодів спостерігалася на третьому і четвертому варіантах з внесенням Плантафол Балагро та Rost – 8,9 штуки, що на 60% більше порівняно з контролем.*

*Врожайність томатів значно варіюється залежно від досліджуваних факторів і склала 81,3 т/га, що на 6,2 т/га або 8,3% більше, ніж у контрольному варіанті. Внесення добрив підвищило врожайність на 44,2 т/га, що становить 53,5% порівняно з варіантами без використання добрив. При застосуванні мінеральних добрив разом з обприскуванням Плантафолом, врожайність плодів зросла на 55,4 т/га (58,8%) порівняно з неудобреними ділянками. Використання мінеральних добрив разом з Rost збільшило врожайність на 54,8 т/га (57,1%) порівняно з контролем.*

*Вміст сухої речовини в томатах варіювався від 5,2 до 5,5%, а загальний вміст цукру становив від 3,0 до 3,2%, що відповідає нормі. Найкращі результати щодо вмісту цукру, вітаміну С і сухої речовини в томатах показали системи удобрення  $N_{120}P_{70}K_{50}$ +Плантафол та  $N_{120}P_{70}K_{50}$ +Rost.*

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> 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

<sup>3</sup> аспірант  
(Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ)  
e-mail. andrii.maidanskyi.22@pnu.edu.ua  
ORCID: 0009-0009-3745-0092

**Ключові слова:** томат, гібрид, плоди, удобрення, урожайність, якість, біохімічні речовини.

## THE IMPACT OF FERTILIZATION ON THE PRODUCTIVITY AND QUALITY OF SOLANUM LYCOPERSICUM L. IN THE CONDITIONS OF PRYKARPATTIA

U. M. Karbivska, O. D. Turak, A. H. Maidanskyi

*The article presents the results of research on the impact of fertilization on the productivity and quality of tomatoes grown in acidic sod-podzolic soil. The research was conducted at the experimental site of the Department of Forestry and Agricultural Management at Vasyl Stefanyk Precarpathian National University.*

*The aim of the research was to study the influence of different fertilization systems and growing conditions on the productivity and quality of tomatoes grown in the sod-podzolic soil of Prykarpattia. The research methods included field, laboratory, mathematical, statistical, and computational approaches. It was found that in the 3rd and 4th variants (systematic application of Plantafol Valagro and Rost), it was possible to form 6,2 and 6,1 fruits, which is 2,2 times more compared to the control. On the 90th day, the average increase in the number of fruits was 3–4 pieces. The minimum values were recorded in the second variant and the control (5,7 and 5,2 pieces, respectively), while the highest number of fruits was observed in the third and fourth variants with the application of Plantafol Valagro and Rost – 8,9 pieces, which is 60% more compared to the control.*

*Tomato yield significantly varied depending on the studied factors and amounted to 81,3 t/ha, which is 6,2 t/ha or 8,3% more than in the control. The application of fertilizers resulted in an increase in yield by 44,2 t/ha, which is 53,5% compared to the variants where fertilizers were not used. The use of mineral fertilizers together with Plantafol spraying increased fruit yield by 55,41 t/ha (58,8%) compared to the yield on unfertilized plots. The use of mineral fertilizers together with Rost led to an increase in yield by 54,78 t/ha (57,1%) compared to the control. The dry matter content in tomatoes ranged from 5,2% to 5,5%, while the total sugar content ranged from 3,0% to 3,2%, which were within the normal range. The fertilization systems  $N_{120}P_{70}K_{50}$  + Plantafol and  $N_{120}P_{70}K_{50}$  + Rost showed the best results in terms of sugar content, vitamin C, and dry matter in tomatoes.*

**Key words:** tomato, hybrid, fruits, fertilization, yield, quality, biochemical substances.

### Вступ

Овочі відіграють ключову роль у продовольчому балансі завдяки вмісту необхідних для організму речовин. Помідори мають високу харчову цінність і є джерелом важливих фітонутрієнтів (Воробйова, 2021).

Виробництво овочів є важливим компонентом продовольчої безпеки. Тому науковці аграрного сектору, такі як В.В. Хареба, З.Д. Сич, О.І. Улянич, Л.М. Пузік та інші, приділили значну увагу функціонуванню овочепродуктового підкомплексу та питанням інновацій в галузі овочівництва (Сич і Хареба, 2004; Улянич, 2004; Хареба та ін., 2013).

Одним із способів підвищення врожайності товарних плодів та насіння томатів є використання методів оптимізації живлення рослин (органічні, сидеральні та мінеральні добрива, меліоранти, мікробні препарати). Науково обґрунтована система оптимізації живлення рослин може збільшити врожайність на 25–80%, покращити якісні показники продукції та стабілізувати рівень родючості ґрунту в агробіоценозах (Куц та ін., 2022).

Доведено, що вплив добрив на формування врожаю сільськогосподарських рослин був підтверджений давно. Багато дослідників відзначають, що до 70–75% приросту врожаю залежить від використання добрив, що робить їх одним із найважливіших технологічних засобів для підвищення не лише врожайності, але й якості сільськогосподарської продукції (Андрусак, 2005).

Важливість добрив у підвищенні врожайності овочевих культур в інтенсивному землеробстві підтверджується результатами наукових досліджень, які показують, що приблизно 50% приросту врожаю в Україні досягається завдяки використанню добрив (Масло та ін., 2003). За інформацією ФАО, у Західній Європі та США від 20 до 40% приросту врожаю обумовлено внесенням мінеральних добрив. Розвинені країни активно використовують значні кількості добрив, що сприяє досягненню високої врожайності сільськогосподарських культур.

Ефективним також є внесення органічних добрив (гній, компости тощо). Дані результатів дослідження Su J.-Y. et al. (2022) свідчать, що при використанні ком-



постів за вирощування помідору в ґрунті зростає вміст обмінного калію та кальцію по відношенню до інших систем удобрення. Органічні добрива позитивно впливають на мікробіологічну активність ґрунту за вирощування культури на різних типах ґрунтів (Jiang et al., 2019; Куц, 2019); забезпечують підвищення урожайності овочевих рослин, в т.ч. і помідору (Куц та ін, 2022).

У порівнянні з іншими овочевими культурами, помідори менш вимогливі до ґрунту і можуть рости на різних типах ґрунтів за механічним складом. Оптимальний рівень рН ґрунту для них становить 5,5–6,5, і вони добре ростуть як на слабокислих, так і на слабобужних ґрунтах (Malaker et al., 2019).

Проте, незалежно від типу ґрунту, для вирощування помідорів необхідно вносити достатню кількість добрив, оскільки вони дуже чутливі до умов мінерального живлення. Для визначення оптимальних норм добрив та їх раціонального співвідношення враховують природню родючість ґрунту, забезпеченість його рухомими формами поживних речовин та удобрення попередніх культур (Ingallina et al., 2020; Pastukhova et al., 2021).

Метою наших досліджень було вивчити вплив різних систем удобрення на врожайність і якість томатів на дерново-підзолистому кислому ґрунті Прикарпаття.

#### Матеріал і методи

Нами було закладено польовий дослід на дослідному полігоні кафедри лісового і аграрного менеджменту Прикарпатського національного університету протягом 2023 року. Ґрунт дерново-підзолистий поверхнево-оглеєний, важкосуглинковий з крупнопилуватою структурою, кислотність (рН) – 4,7, вміст гумусу (%) – 2,7, забезпеченість ґрунту (мг/кг): азотом – 78,0, фосфором – 43,0, калієм – 98,0. Розміщення варіантів проводилося систематично, з чотирикратною повторністю. Досліджували томати гібриду Каста (Супернова) F1 – ультраранній крупноплідний гібрид детермінантного томату, вирізняється високою якістю плодів. Достигає через 57–60 днів після висадки розсади. Рослина генеративного типу, із середньою силою росту, з короткими міжвузлями. Попередник пшениця озима.

Томати висаджували у відкритий ґрунт розсадним методом. Розсаду пересаджували на 55-й день, коли висота стебел становила 13–15 см. Біопроферм – це комплексне добриво, яке містить усі макроелементи (азот, фосфор, калій, кальцій) та мікроеле-

менти (мідь, цинк, магній, бор, молібден, марганець, залізо, кобальт), а також гумусові речовини і спори корисних ґрунтових організмів.

Плантафол Валагро – універсальне мінеральне добриво для позакореневого живлення з мікроелементами, застосовується на всіх стадіях розвитку. Особливо ефективний в фазі росту плоду. Схема досліду наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Схема досліду

Варіант удобрення, (фактор А)	Внесення мікродобрив (фактор В)
Без добрив (контроль) N <sub>120</sub> P <sub>70</sub> K <sub>50</sub>	Без обробки (контроль) Біопроферм Плантафол Валагро Rost

Rost – це концентроване органо-мінеральне добриво на базі гумату калію, що містить комплекс макро- та мікроелементів. Це добриво забезпечує рослинам необхідні живильні елементи, активізує їх імунну систему, покращує синтез цукрів, амінокислот та вітамінів у рослинах, посилює поглинання води і кисню, що сприяє швидшому поділу клітин, інтенсифікує обмінні процеси, підвищує надходження поживних речовин до рослини, прискорює синтез нуклеїнових кислот і білків, активує білковий та вуглеводний обмін речовин, збільшує проникність клітинної мембрани та полегшує транспортування поживних речовин всередину клітин.

Згідно зі схемою досліду біопрепарат Біопроферм вносили перед посадкою на дослідних ділянках із нормою 6 т/га. Позакореневе підживлення препаратами Плантафол та Rost проводили тричі за вегетаційний період: перше – через 14–15 днів після висадки культур у ґрунт, а наступні два – через кожні два тижні.

В ході дослідження використовували основні методи: аналізу та порівняння, експериментальний, розрахунковий. Облік урожаю проводили три рази на тиждень. За кожного збирання плодів підраховували та зважували масу товарних і нетоварних плодів.

#### Результати та їх обговорення

Аналіз результатів дослідження показав, що у варіантах 3 та 4 (систематичне внесення Плантафол Валагро та Rost) було

сформовано 6,2 та 6,1 плодів, що в 2,2 раза більше порівняно з контролем. На 90-й день середній приріст кількості плодів становив 3–4 штуки. Найменші значення спостерігались у другому варіанті та на контролі (5,7 та 5,2 штуки відповідно), тоді як найбільша кількість плодів спостерігалася в третьому і четвертому варіантах з внесенням Плантафол Валагро та Rost – 8,9 штуки, що на 60% більше порівняно з контролем. На 100-й день загальна кількість сформованих плодів коливалася від 7,1 до 10,3 штук. Найбільша кількість плодів, а саме на 64% більше порівняно з контролем, була сформована у варіанті з використанням мінеральних добрив у поєднанні з Плантафол Валагро. При використанні нітроамофоски без мікродобрив кількість плодів була практично однаковою, становлячи 7,6 штук, що на 8% більше, ніж у контролі.

Встановлено, що внесення мікродобрив у підживлення прискорює ріст вегетативної маси томатів на ранніх стадіях розвитку, тоді як на контролі ріст рослин протікає рівномірно. Крім того, забезпечення рослин поживними елементами збільшує кількість сформованих плодів.

Рівень врожайності та якість сільськогосподарської продукції визначають необхідність застосування конкретних агротехнічних заходів. Врожайність томатів значною мірою залежить від доступності необхідних елементів живлення. Основні критерії

для оцінки доцільності впровадження певних агротехнічних заходів включають визначення врожайності та якості сільськогосподарської продукції. Результати дослідження показали, що врожайність томатів суттєво змінюється в залежності від досліджуваних факторів і становила 81,3 т/га, що на 6,2 т/га або 8,3% більше, ніж на контролі (рис. 1).

Внесення добрив підвищило врожайність на 44,2 т/га, що становить 53,5% порівняно з варіантами без добрив. Застосування мінеральних добрив разом з обприскуванням Плантафолом збільшило врожайність до 55,41 т/га (58,8%) порівняно з неудобреними ділянками. Використання мінеральних добрив разом з Rost підвищило врожайність до 54,78 т/га (57,1%) у порівнянні з контролем. У варіанті, де використовувались мінеральні добрива в поєднанні з Біопрoferмом, середня врожайність становила 78,30 т/га, що на 44,23 т/га (53,5%) більше, ніж у контролі.

Якість продукції визначається різними факторами, такими як концентрація мікроелементів, наявність вітаміну С, вміст загальних цукрів і сухих речовин. Оптимальний рівень мікроелементів важливий для функціонування всього організму. Недостатність або надлишок мікроелементів у раціоні можуть спричинити серйозні порушення здоров'я людини і тварин, відомі як мікроелементози.

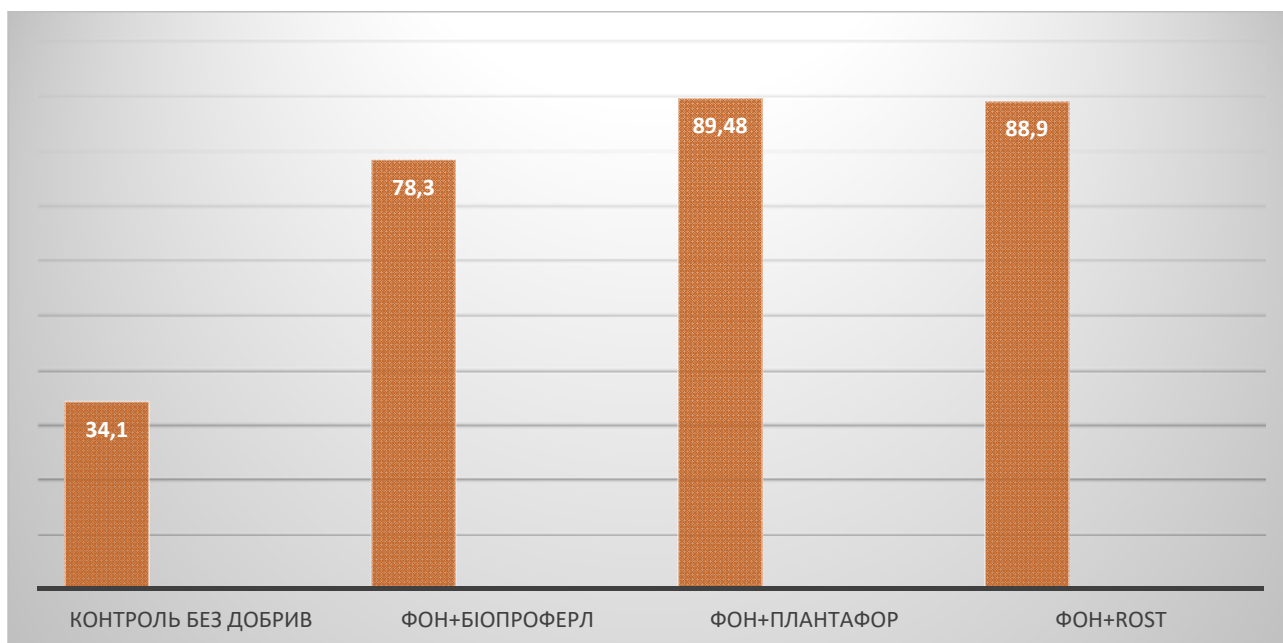


Рис. 1. Врожайність томату, т/га

Аналіз результатів досліджень щодо вмісту сухої речовини і загального цукру в продукції показав різницю залежно від системи удобрення. Вміст сухої речовини у помідорах варіювався від 5,2 до 5,50%, а загальний вміст цукру становив від 3,0 до 3,2% (табл. 2). Вміст вітаміну С практично не змінювався залежно від системи удобрення. Найнижчі показники були виявлені у контрольних зразках і за оброблення насіння препаратом Біопродерм. У плодах, вирощених з використанням різних систем удобрення, як мінеральних, так і мікродобрив, вміст вітаміну С збільшувався.

тично не змінювався залежно від системи удобрення. Найнижчі показники були виявлені у контрольних зразках і за оброблення насіння препаратом Біопродерм. У плодах, вирощених з використанням різних систем удобрення, як мінеральних, так і мікродобрив, вміст вітаміну С збільшувався.

Таблиця 2

Вміст біохімічних речовин у помідорах залежно від систем удобрення

Варіант	Суха речовина, %	Загальний цукор, %	Вітамін С, %
Контроль без добрив	5,2 ±0,13	3,0 ±0,01	10,2 ±0,08
Фон+Біопродерм	5,4 ±0,08	3,1 ±0,04	10,7 ±0,02
Фон+Плантафол валагро	5,5 ±0,13	3,2 ±0,05	11,2 ±0,04
Фон+Rost	5,5 ±0,13	3,2 ±0,05	11,1 ±0,04

Систематичне внесення добрив призводило до 10% вищого вмісту цього вітаміну порівняно з контролем.

Аналіз даних, представлених у таблиці щодо якісних показників помідорів, вирощених у відкритому ґрунті, таких як вміст сухої речовини, цукру та вітаміну С, свідчить, що застосування добрив покращує ці показники порівняно з контролем. Зокрема, найвищий вміст сухої речовини спостерігався у варіантах 3 і 4, де використовувалися мінеральні та мікродобрива відповідно.

Отримані результати показують, що найвищий рівень загального цукру був зафіксований у варіантах 3 і 4, де для підживлення рослин застосовували мікродобрива на фоні мінеральних добрив. Високі показники цукру також виявлені у варіанті 2, де використовувалися біопрепарати для обробки насіння. Це може бути пояснено збалансованим вмістом елементів живлення у мікродобривах.

Таким чином, аналіз результатів дозволяє зробити висновок, що мікродобрива мають перевагу і сприяють накопиченню цукру в плодах помідорів у порівнянні з іншими системами удобрення.

Щодо вмісту вітаміну С, нами встановлено, що найвищі значення накопичення спостерігалися у третьому та четвертому

варіантах, де використовувалися мінеральні добрива та підживлення мікродобривами Плантафол Валагро і Rost. Найнижчі показники були зафіксовані у контрольному варіанті, що свідчить про значний вплив умов живлення на цей показник.

Загалом, аналіз якісних показників плодів помідорів дозволяє виділити кілька варіантів удобрення, де всі три показники (вміст сухої речовини, цукру та вітаміну С) були збалансованими. Особливо виділяються третій та четвертий варіанти з використанням мінеральних та мікродобрив.

#### Висновки

Вирощування помідорів у відкритому ґрунті на території Прикарпаття дозволяє досягати високих урожаїв. Аналіз біометричних показників показав, що використання мінеральних добрив та Плантафолу збільшило кількість плодів на 27 % порівняно з контролем. Крім того, ці системи удобрення сприяли збільшенню кількості плодів на кожній китиці на 10,6%.

Підтверджено, що умови вирощування, включаючи використання добрив, впливали не лише на ріст рослин, але і на якість отриманої продукції. Найкращими виявилися системи удобрення  $N_{120}P_{70}K_{50}$ +Плантафол та  $N_{120}P_{70}K_{50}$ +Rost за вмістом цукру, вітаміну С і сухої речовини в помідорах.

#### Список використаної літератури

- Андрусак Н.О. Економічна ефективність виробництва овочів. *Зб. наук. пр. Уманського держ. аграр. ун-ту*. 2005. Вип. 61. С. 54–59.
- Воробйова Н.В. Адаптивність до умов Лісостепу України та врожайність сортів помідора. *Овочівництво і багтанництво*. 2021. Вип. 69. С. 72–88.
- Куц О.В. (2019). Мікробіологічна активність ґрунту за різних систем оптимізації живлення рослин томата. *Овочівництво і багтанництво*. 2019. Вип. 63. С. 185–193. [Електронний

ресурс]. URL: <https://vegetablesjournal.com/index.php/journal/article/view/63> (дата звернення 10.03.2024).

Куц О.В., Михайлин В.І., Парамонова Т.В., Рожков А.О., Онищенко О.І., Семененко І.І., Гапон Т.М., Жернова О.С. Вплив різних систем удобрення на насінневу продуктивність помідору. *Овочівництво і багтанництво*. 2022. Вип. 72. с. 61–70.

Масло А.В., Гуца М.А., Ромаш Н.З., Масло О.М. Вплив тривалого застосування мінеральних добрив на урожай овочів та вміст нітратів в продукції. *Овочівництво і багтанництво*. 2003. Вип. 48. С. 284–289.

Сич З.Д., Хареба В.В. Можливості українського овочівництва в умовах глобалізації. *Овочівництво і багтанництво*. 2004. Вип. 49. С. 3–10.

Улянич О.І. Застосування регуляторів росту при вирощуванні огірків. *Зб. наук. праць Уманського ДАУ*. Умань, 2005. Вип. 59. С. 242–249.

Хареба В.В., Хареба О.В., Фурман В.А. Стан і проблеми розвитку галузі овочівництва. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2013. Вип. 183 (1). С. 9–14. [Електронний ресурс]. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnu\\_agr\\_2013\\_183%281%29\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnu_agr_2013_183%281%29_3) (дата звернення 10.03.2024).

Ingallina C., Sobolev A., Circi S., Spano M., Giusti A., Mannina L. New Hybrid Tomato Cultivars: An NMR-Based Chemicization. *Applied Sciences*, 2020. 10, 1887. <https://doi.org/10.3390/app10051887>.

Jiang S.Q., Yu Y.N., Gao R.W., et al. High-throughput absolute quantification sequencing reveals the effect of different fertilizer applications on bacterial community in a tomato cultivated coastal saline soil. *The Science of the Total Environment*. 2019. 687. P. 601–609. PMID: 31220714. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.105>.

Malaker A., Hossain A.K.M., Akter T., Khan Md. Variation in morphological attributes and yield of tomato cultivars. *Research in Agriculture Livestock and Fisheries*, 2016. № 3. 287. <https://doi.org/10.3329/ralf.v3i2.29349>.

Pastukhova A., Petrov A., Tsvetkova V., Maslenikova V. The responsiveness of tomato cultivar «spock» on the use of biological and mineral fertilizers. *Innovations and Food Safety*, 2021. P. 108–116. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-30-4-108-116>.

Su J.-Y., Liu C.-H., Tampus K., Lin Y.-C., Huang C.-H. Organic Amendment Types Influence Soil Properties, the Soil Bacterial Microbiome, and Tomato Growth. *Agronomy*. 2022. № 12. 1236. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051236>.

## References

Andrusiak, N.O. (2005). Ekonomichna efektyvnist vyrobnytstva ovochiv [Economic efficiency of vegetable production]. *Zb. nauk. pr. Umanskooho derzh. ahrar. un-tu*. [The Collection of Scientific Papers of Uman State Agrarian University], 61, 54–59 [in Ukrainian].

Vorobiova, N.V. (2021). Adaptivnist do umov Lisostepu Ukrainy ta vrozhaivist sortiv pomidora [Adaptability to the conditions of the forest-steppe of Ukraine and yield of tomato varieties]. *Ovochivnytstvo i bashtannytstvo [Vegetable and Melon Growing]*, 69, 72–88 [in Ukrainian].

Kuts, O.V. (2019). Mikrobiolohichna aktyvnist gruntu za riznykh system optymizatsii zhyvlennia roslyn tomata [Microbiological activity of soil under different systems of tomato plant nutrition optimization]. *Ovochivnytstvo i bashtannytstvo [Vegetable and Melon Growing]*, 63, 185–193. [Electronic resource] URL: <https://vegetablesjournal.com/index.php/journal/article/view/63> (access date 10.03.2024) [in Ukrainian].

Kuts, O.V., Mykhailyn, V.I., Paramonova, T.V., Rozhkov, A.O., Onyshchenko, O.I., Semenenko, I.I., Hapon, T.M., & Zhernova O.S. (2022). Vplyv riznykh system udobrennia na nasinnievu produktyvnist pomidoru [The effect of different fertilization systems on tomato seed productivity]. *Ovochivnytstvo i bashtannytstvo [Vegetable and Melon Growing]*, 72, 61–70 [in Ukrainian].

Maslo, A.V., Hushcha, M.A., Romash, N.Z., & Maslo, O.M. (2003). Vplyv tryvaloho zastosuvannia mineralnykh dobryv na urozhai ovochiv ta vmist nitrativ v produktsii [The effect of long-term use of mineral fertilizers on the yield of vegetables and the content of nitrates in products]. *Ovochivnytstvo i bashtannytstvo [Vegetable and Melon Growing]*, 48, 284–289 [in Ukrainian].

Sych, Z.D., & Khareba, V.V. (2004). Mozhlyvosti ukrainskoho ovochivnytstva v umovakh hlobalizatsii [Possibilities of Ukrainian vegetable growing in the conditions of globalization]. *Ovochivnytstvo i bashtannytstvo [Vegetable and Melon Growing]*, 49, 3–10 [in Ukrainian].

Ulianych, O.I. (2005). Zastosuvannia rehulatoriv rostu pry vyroshchuvanni ohirkiv [Application of growth regulators when growing cucumbers]. *Zb. nauk. prats Uman'skoho DAU [The Collection of Scientific Papers of Uman State Agrarian University]*, 59, 242–249 [in Ukrainian].

Khareba, V.V., Khareba, O.V., & Furman, V.A. (2013). Stan i problemy rozvytku haluzi ovochivnytstva [The state and problems of development of the vegetable growing industry]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy [Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine]*, 183 (1), 9–14. [Electronic resource] URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau\\_agr\\_2013\\_183%281%29\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_agr_2013_183%281%29_3) (access date 10.03.2024) [in Ukrainian].

Ingallina, C., Sobolev, A., Circi, S., Spano, M., Giusti, A., & Mannina, L. (2020). New Hybrid Tomato Cultivars: An NMR-Based Chemicization. *Applied Sciences*, 10, 1887. <https://doi.org/10.3390/app10051887> [in English].

Jiang, S.Q., Yu, Y.N., & Gao, R.W., et al. (2019). High-throughput absolute quantification sequencing reveals the effect of different fertilizer applications on bacterial community in a tomato cultivated coastal saline soil. *The Science of the Total Environment*, 687, 601–609. PMID: 31220714. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.105>. [in Ukrainian].

Malaker, A., Hossain, A.K.M., Akter, T., & Khan, Md. (2016). Variation in morphological attributes and yield of tomato cultivars. *Research in Agriculture Livestock and Fisheries*, 3, 287. <https://doi.org/10.3329/ralf.v3i2.29349> [in English].

Pastukhova, A., Petrov, A., Tsvetkova, V., & Maslenikova, V. (2021). The responsiveness of tomato cultivar «spock» on the use of biological and mineral fertilizers. *Innovations and Food Safety*, 108–116. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-30-4-108-116> [in English].

Su, J.-Y., Liu, C.-H., Tampus, K., Lin, Y.-C., & Huang, C.-H. (2022). Organic Amendment Types Influence Soil Properties, the Soil Bacterial Microbiome, and Tomato Growth. *Agronomy*, 12, 1236. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051236> [in English].

Отримано: 25.07.2024

Прийнято: 05.09.2024



УДК 631.81:633.367.2

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.26>

## ВПЛИВ УДОБРЕННЯ НА ВМІСТ ЕЛЕМЕНТІВ У РОСЛИНАХ ЛЮПИНУ ВУЗЬКОЛИСТОГО В УМОВАХ ПРИКАРПАТТЯ

У. М. Карбівська<sup>1</sup>, Г. М. Соловей<sup>2</sup>, Т. В. Пронюк<sup>3</sup>, В. М. Димид<sup>4</sup>

*У статті висвітлено результати досліджень щодо впливу удобрення на вміст макроелементів у рослинах люпину вузьколистого. Дослідження проводились на дослідному полігоні кафедри лісового і аграрного менеджменту Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника. Методи дослідження: польовий, лабораторний, математичний, статистичний та розрахунковий.*

*Встановлено, що вміст фосфору в зерні люпину знаходиться майже на одному рівні від 408 до 474 мг/100 г для всіх зразків рослин, крім варіанту з внесенням Інтермаг Титан, де значення найменше (328 мг/100 г). Для люпину вузьколистого титанове добриво не сприяє засвоєнню рослинами фосфору. У листі рослин цей показник найвищим був на варіанті за внесення добрива БЛЕК ДЖЕК КС і становив 391 мг/100 г, що на 360 мг/100 г вище за варіант з внесенням мінеральних добрив. Така сама тенденція спостерігається для вмісту фосфору в корінні: найвищий показник для рослин був отриманий за внесення гумату (474 мг/100 г). Для решти варіантів значення знаходяться на одному рівні. Гумати є більш ефективним добривом для засвоєння фосфору люпином.*

*Стосовно калію, то найменша його кількість в зерні люпину спостерігалась на контролі (927 мг/100 г), а за внесення мінерального добрива в нормі  $N_{90}P_{90}K_{90}$  вона збільшилась на 156 мг/100 г. Титанове добриво по впливу на засвоєння рослинами калію знаходиться на рівні*

<sup>1</sup> 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](mailto:uliana.karbivska@pnu.edu.ua)  
ORCID: 0000-0002-0540-8887

<sup>2</sup> кандидат історичних наук, старший дослідник,  
завідувач відділу  
(Національна наукова сільськогосподарська бібліотека НААН, м. Київ)  
e-mail: [sol.galin99@gmail.com](mailto:sol.galin99@gmail.com)  
ORCID: 0000-0003-3156-3829

<sup>3</sup> аспірант  
(Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ)  
e-mail: [taras.proniuk.22@pnu.edu.ua](mailto:taras.proniuk.22@pnu.edu.ua)  
ORCID: 0009-0000-5338-4640

<sup>4</sup> аспірант  
(Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ)  
e-mail: [volodymyr.dymyd.23@pnu.edu.ua](mailto:volodymyr.dymyd.23@pnu.edu.ua)  
ORCID: 0009-0007-2421-0407

мінерального добрива. Кількість калію в листі найбільша для варіантів 2 і 4, менше для контролю і 3 варіанту. Вміст калію в корінні люпину найвищий у варіантах, де вносились мінеральні добрива і становив 1507 мг/100 г, що на 1123 мг/100 г більше порівняно з варіантом за внесення гумату.

Встановлено, що вміст магнію в листях люпину знаходився на рівні від 310 мг/100 г на варіанті з внесенням мінеральних добрив до 503 мг/100 г з внесенням гумату. Кількість магнію в зерні люпину коливалась від 65 мг/100 г до 141 мг/100 г, в корінні цей показник найвищим був на варіанті з внесенням мінеральних добрив і становив 113 мг/100 г.

**Ключові слова:** люпин вузьколистий, макроелементи, мінеральні добрива, гумати, листя, коріння, зерно.

## THE IMPACT OF FERTILIZATION ON THE ELEMENT CONTENT IN NARROW-LEAF LUPINE PLANTS UNDER THE CONDITIONS OF PRECARPATHIA

U. M. Karbivska, H. M. Solovei, T. V. Pronyuk, V. M. Dymyd

*The article presents the research results on the impact of fertilization on the macroelement content in narrow-leaf lupine plants. The research was conducted at the experimental field of the Department of Forestry and Agrarian Management of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University. The methods used in the research included field, laboratory, mathematical, statistical, and computational methods.*

*It was found that the phosphorus content in lupine grains remains almost at the same level, ranging from 408 to 474 mg/100 g for all plant samples, except for the variant with the application of InterMag Titan, where the value is the lowest (328 mg/100 g). For narrow-leaf lupine, titanium fertilizer does not promote phosphorus absorption by the plants. In the plant leaves, this indicator was the highest in the variant with the application of BLACK JACK KS fertilizer, amounting to 391 mg/100 g, which is 360 mg/100 g higher than the variant with the application of mineral fertilizers. The same trend is observed for the phosphorus content in the roots: the highest indicator for the plants was obtained with the application of humate (474 mg/100 g). For the rest of the variants, the values remain at the same level. Humates are a more effective fertilizer for phosphorus absorption by lupine.*

*Regarding potassium, the lowest amount in lupine grains was observed in the control (927 mg/100 g), while with the application of mineral fertilizer at the rate of N90P90K90, it increased by 156 mg/100 g. Titanium fertilizer's effect on potassium absorption by the plants is on the same level as mineral fertilizer. The potassium content in the leaves is highest for variants 2 and 4, lower for the control and variant 3. The potassium content in lupine roots is highest in the variants where mineral fertilizers were applied, amounting to 1507 mg/100 g, which is 1123 mg/100 g more compared to the variant with humate application.*

*It was found that the magnesium content in lupine leaves ranged from 310 mg/100 g in the variant with mineral fertilizer application to 503 mg/100 g with humate application. The magnesium content in lupine grains varied from 65 mg/100 g to 141 mg/100 g, and in the roots, this indicator was highest in the variant with mineral fertilizer application, amounting to 113 mg/100 g.*

**Key words:** narrow-leaf lupine, macroelements, mineral fertilizers, humates, leaves, roots, grains.

### Вступ

Вирощування зернобобових культур є ключовим фактором сталого розвитку агроєко-систем та підвищення ефективності агробізнесу (Ткачук та ін., 2019; Котельницька, 2020). У вирішенні проблеми рослинного білка важливе місце належить зернобобовим культурам, зокрема люпину білому та люпину вузьколистому, насіння яких відзначається високим вмістом сирого протеїну, комплексом незамінних амінокислот; культури не поступаються сої та кормовим бобам за харчовою цінністю та агротехнічним значенням у сівозміні (Камінський, 2004; Петриченко та ін., 2018).

В умовах сьогодення люпин вузьколистий – це цінна кормова та сидеральна культура, яка є джерелом збалансованого білку та сприяє вирішенню проблеми збереження природної родючості ґрунту, покращенню фітосанітарного стану агрофітоценозів і підвищенню їх продуктивності, тому він повинен зайняти належне місце в польових сівозмінах, а також в органічному землеробстві (Голодна, 2018; Голодна, 2021).

Україна посідає 9-те місце в світовому рейтингу найбільших виробників люпину. У 2020 році його експорт склав 4,2 тис. т на загальну суму \$1,4 млн. Виробники цієї

культури зазначають, що урожайність коливається від 500 кг до 3 т/га, все залежить від погоди в період жнив.

За останні 20 років середньорічні темпи падіння посівів під люпином становили 2,54%. У 2019 році загальні світові посівні площі під люпином склали 887,1 тис. га. Скорочення пояснюється тим, що люпин програє за урожайністю іншим зерновим та зернобобовим культурам. На жаль, обсяги вирощування люпину вузьколистого наразі не відповідають потребам сільськогосподарського виробництва, що можна пояснити відносно низькою і нестійкою урожайністю зерна (Чоловський, 2008).

Обов'язковими елементами технології вирощування люпину вузьколистого з метою інтенсифікації як вегетативного, так і генеративного розвитку, є застосування мінеральних добрив у основне внесення, а також позакореневе підживлення рослин для оптимального їх забезпечення елементами живлення в критичні періоди розвитку, передпосівне протруєння та інокулювання насіння препаратами на основі активних штамів азотфіксувальних бактерій (Марчук та ін., 2022).

Великий внесок у розвиток агротехнологічних і біологічних основ виробництва люпину зробили вчені А.О. Бабич, М.С. Корнійчук, Н.А. Майсурян, В.Ф. Петриченко, І.П. Проскура, Н.В. Солодюк та інші. Вони довели, що використання цієї культури в структурі сільськогосподарських угідь зберігає й значно покращує родючість ґрунту, а також є джерелом цінного рослинного білка, збалансованого за амінокислотним складом (Ратошняк, 2016; Ратошняк, 2020). Відомо, що це єдина бобова культура, яка не лише росте і дає високі врожаї на бідних, кислих, піщаних, дерново-підзолистих ґрунтах, а й підвищує їх родючість завдяки здатності бульбочкових бактерій роду *Rizobium* утворювати на кореневій системі бульбочки. У цих бульбочках відбувається засвоєння молекулярного азоту з атмосфери, тому посіви люпину можуть обходитися без азотних добрив. Ця особливість робить люпин незамінним попередником для наступних культур сівозміни. Завдяки спеціальним кореневим кислим виділенням, люпин здатний перетворювати важкорозчинні фосфати у легкозасвоєвані форми і включати їх у свої обмінні процеси (Мойсієнко та ін., 2014).

Метою роботи було визначення впливу удобрення на вміст макроелементів

в рослинах люпину вузьколистого в умовах Прикарпаття.

### Матеріал і методи

Дослідження проводились упродовж 2023 року на дослідному полігоні кафедри лісового і аграрного менеджменту Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника. Польовий дослід був закладений рендомізованим способом у трьохкратному повторенні. В експерименті вивчали дію удобрення на вміст макроелементів у різних частинах рослини люпину вузьколистого. Висівали сорт Переможець, який внесений до Державного реєстру в 2013 році. Урожайність сухої речовини – 4,35–5,65 т/га; насіння – 1,67–2,31 т/га. Тривалість періоду вегетації складає 58–63 діб. Стійкість до вилягання 8,5–9,0 балів, обсіпання 8,6–9,0 балів, посухи 8,0–8,3 балів. Стійкість проти фузаріозу 9,0 балів.

Дослідженнями вивчалися чотири варіанти удобрення, за контроль взято варіант без добрив (обробка водою),  $N_{90}P_{90}K_{90}$ , БЛЕК ДЖЕК КС, Інтермаг Титан (табл. 1).

Таблиця 1

Схема дослідів

Люпин вузьколистий сорт Переможець	Контроль (без добрив, обробка водою) $N_{90}P_{90}K_{90}$ БЛЕК ДЖЕК КС Інтермаг Титан
------------------------------------	--

Суше озолення проводили для рослин у фазі повної стиглості при температурі 530 °С протягом 30 хв. Одержували золу коріння, листя, стебла та зерна. Технологія вирощування люпину вузьколистого була загальноприйнятою для умов Прикарпаття України.

### Результати та їх обговорення

Фосфор є одним із найважливіших елементів для живлення рослин. Цей макроелемент формує енергетичну основу та резерв клітин рослин. Всі ключові біохімічні процеси відбуваються за участі фосфору, адже він є компонентом нуклеїнових кислот, нуклеотидів, ферментів, а також продуктів фотосинтезу та дихальних циклів (Стахів та ін., 2008; Коровецька та ін., 2009).

За результатами наших досліджень встановлено, що вміст фосфору в зерні люпину знаходиться майже на одному рівні від 408 до 474 мг/100 г для всіх зразків рослин, крім варіанту з внесенням Інтермаг Титан, де значення найменше (328 мг/100 г) (рис. 1).



Для люпину титанове добриво не сприяє засвоєнню рослинами фосфору.

Уміст фосфору в листі рослин найвищим був на варіанті за внесення добрива БЛЕК ДЖЕК КС і становив 391 мг/100 г, що на 360 мг/100 г вище за варіант з внесенням мінеральних добрив. Така сама тенденція спостерігається для вмісту фосфору в корінні: найвищий показник для рослин був отриманий за внесення гумату (474 мг/100 г). Для решти варіантів значення знаходяться на одному рівні.

Калій є одним із найважливіших елементів для живлення рослин. Більше ніж 60 ферментів активуються завдяки калію. Він сприяє гідратації протоплазми, знижує її в'язкість і підвищує вміст води. У рослин-

них клітинах калій існує в іонній формі та не входить до складу органічних речовин, тому він дуже рухливий, легко реутилізується і відіграє вагомую роль у транспортуванні іонів, водообміні та процесах осморегуляції рослини (Xu et al., 2002).

Найменша кількість калію в зерні люпину спостерігалась на контрольному варіанті (927 мг/100 г), при внесенні мінерального добрива в нормі  $N_{90}P_{90}K_{90}$  вона збільшилась на 156 мг/100 г (рис. 2). Титанове добриво по впливу на засвоєння рослинами калію знаходиться на рівні мінерального добрива. Кількість калію в листі найбільша для варіантів 2 і 4, менше для контролю і 3 варіанту. Вміст калію в корінні люпину найбільший для рослин, які підживлювалися мінераль-

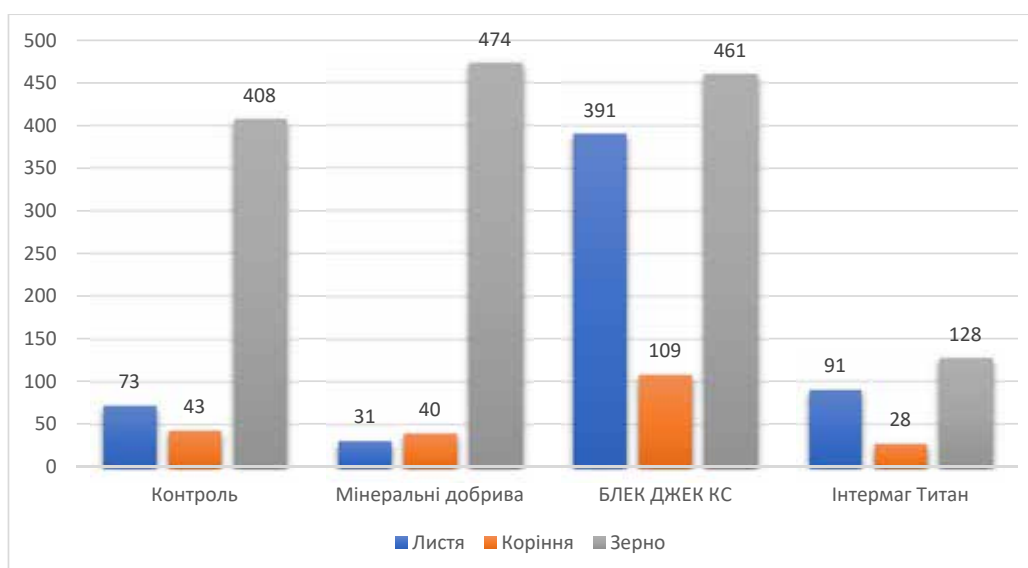


Рис. 1. Уміст фосфору в різних частинах рослини люпину, мг/100 г

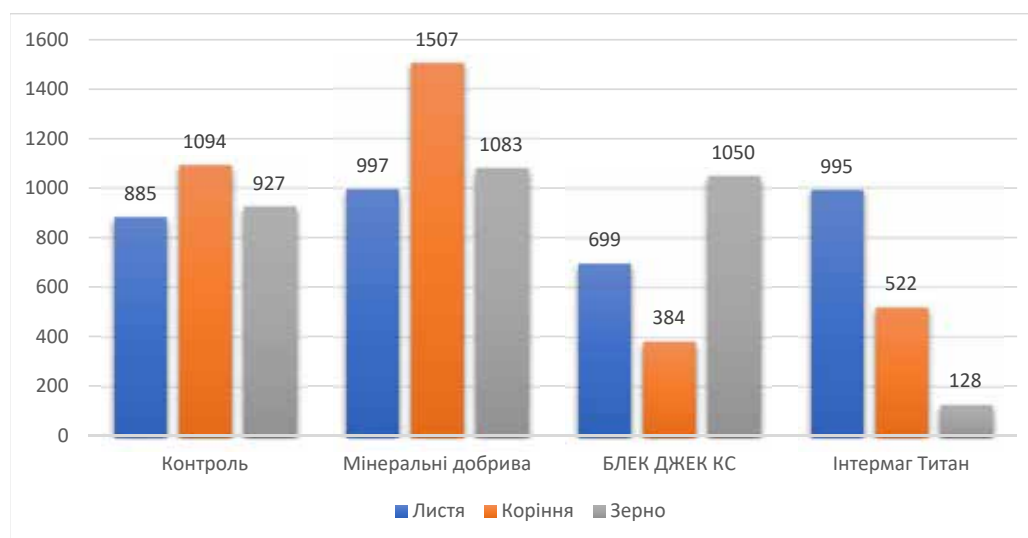


Рис. 2. Уміст калію в різних частинах рослини люпину, мг/100 г.

ними добривами в нормі  $N_{90}P_{90}K_{90}$  і становив 1507 мг/100 г, що на 1123 мг/100 г більше порівняно з варіантом за внесення гумату. Кальцій і кремній також відіграють важливу роль у метаболізмі рослинної клітини. Кальцій стабілізує мембрану, взаємодіючи з негативно зарядженими групами фосфоліпідів, і знижує її пасивну проникність.

Майже вся катіонообмінна ємність поверхні кореня зайнята кальцієм, що обмежує надходження інших іонів у рослину і допомагає усунути токсичність надлишкових концентрацій іонів амонію, алюмінію, марганцю та заліза (Коць та ін., 2005). За результатами досліджень, встановлено, що в листі рослин люпину вузьколистого вміст кальцію становив від 2748 мг/100 г на варіанті за внесення Інтермаг Титан до 3875 мг/100 г на варіанті за внесення міне-

ральних добрив (рис. 3). Найвища кількість кальцію в корінні рослин люпину спостерігалась на варіанті за внесення БЛЕК ДЖЕК КС і становила 800 мг/100 г. У зерні люпину найбільший показник кальцію був на варіанті за внесення Інтермаг Титан (527 мг/100 г).

Магній є складовою хлорофілу, виступає кофактором ферментів, які каталізують перенесення фосфатних груп, і необхідний для активації багатьох ферментів гліколізу та циклу Кребса. Він також підтримує цілісність рибосом. Подібно до кальцію, магній впливає на включення дезоксирибонуклеотидів у молекулу ДНК (Коць та ін., 2005). Встановлено, що вміст магнію в листях люпину знаходився на рівні від 310 мг/100 г на варіанті з внесенням мінеральних добрив до 503 мг/100 г із застосуванням гумату (рис. 4).

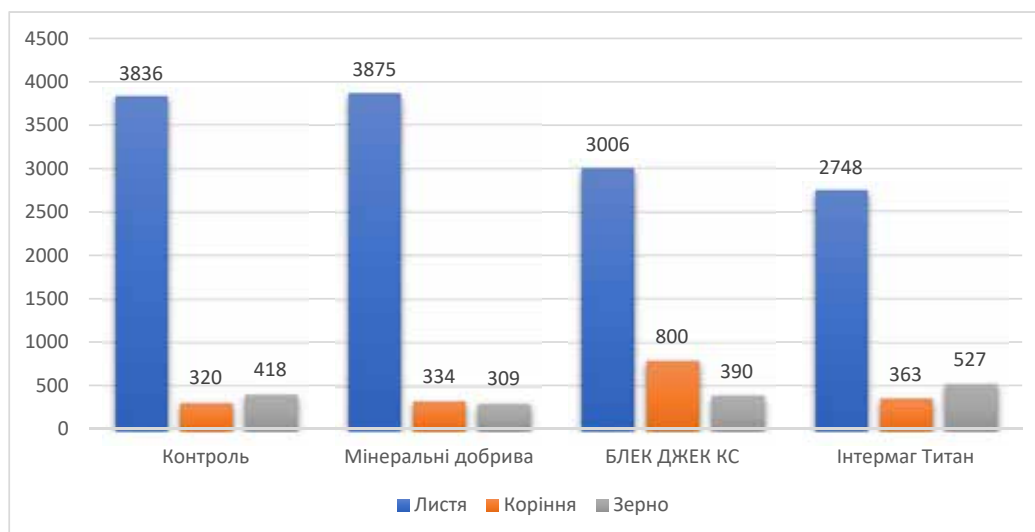


Рис. 3. Уміст кальцію в різних частинах рослини люпину, мг/100 г

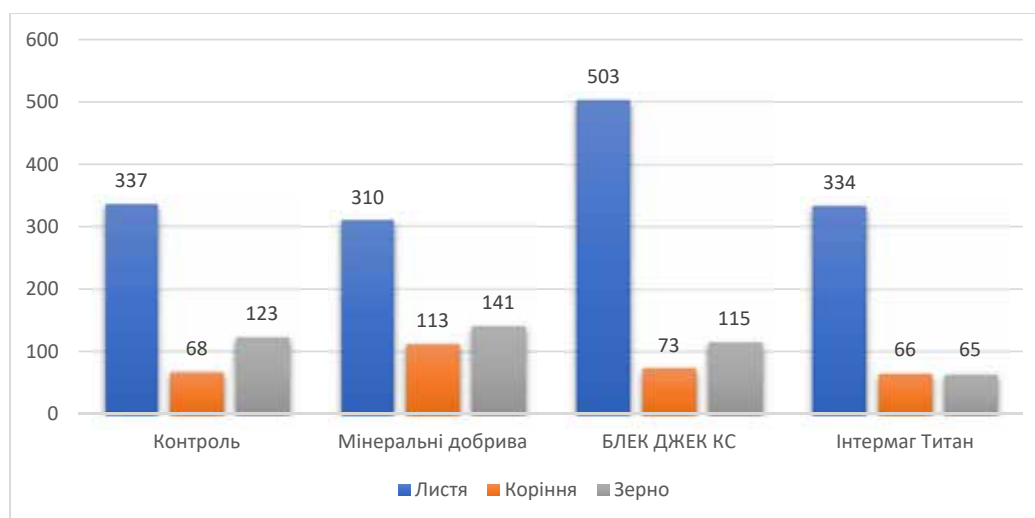


Рис. 4. Уміст магнію в різних частинах рослини люпину, мг/100 г

Кількість магнію в зерні люпину коливалася від 65 мг/100 г до 141 мг/100 г, у корінні цей показник найвищим був на варіанті з внесенням мінеральних добрив і становив 113 мг/100 г.

#### Висновки

Найвищу кількість фосфору зафіксовано на варіанті з внесенням гумату БЛЕК ДЖЕК КС, де його кількість становила в листі

люпину 391 мг/100 г, корінні 109 мг/100 та зерні 461 мг/100 г, подібна ситуація спостерігалась і за вмістом кальцію.

За внесення мінерального добрива з нормою  $N_{90}P_{90}K_{90}$  кількість калію була найвищою і становила в листі рослин люпину 997 мг/100 г, корінні – 1507 мг/100 г та зерні – 1083 мг/100 г, а також найвищою була кількість магнію на цьому варіанті.

#### Список використаної літератури

Голодна А.В. Ріст і розвиток рослин люпину вузьколистого та урожайність залежно від варіантів удобрення й біологічних препаратів. *Корми і кормовиробництво*. 2021. № 92. С. 54–61. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202192-05>.

Голодна А.В. Технологічні аспекти вирощування кормових люпинів у зоні Лісостепу України (Монографія). Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2018. 380 с.

Камінський В.Ф. Значення та шляхи стабілізації виробництва зернобобових культур в Україні. *Збірник наукових праць Інституту землеробства*. Спецвипуск. 2004. С. 138–143.

Коровецька Г., Джура Н., Цвілінюк О., Терек О., Диньо З, Шимон Л. Макроелементний склад рослин CAREX HIRTA L. за дії нафтового забруднення ґрунту. *Вісник Львівського університету*. 2009. Вип. 50. С. 182–188.

Котельницька Г.М. Економічна ефективність елементів технології вирощування люпину вузьколистого в умовах Полісся. *Наукові горизонти*. 2020. № 01 (86). С. 22–28. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-86-1-22-28>.

Марчук І.У., Макаренко В.М., Розстальний В.Є., Савчук А.В. Добрива та їх використання. Київ, 2002. 242 с.

Мінеральні елементи і добрива в живленні рослин. За ред. С.Я. Коць, Н.В. Петерсон. К. : Логос, 2005. 150 с.

Мойсієнко В.В., Панчишин В.З. Наукові здобутки та перспективи вирощування люпину кормового в Україні. *Вісник ЖНАЕУ*. 2014. №2 (42). Т. 1. 214. С. 112–125.

Петриченко В.Ф., Лихочвор В.В., Колісник С.І., Воронецька І.С., Кобак С.Я. Обґрунтування інтенсифікації виробництва зернобобових культур в Україні. *Web of Scholar*. 2018. 6 (24), Ч. 4. с. 22–29. [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_wos/12062018/5769](https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/12062018/5769).

Ратошняк В.І. Формування загального та активного симбіотичного потенціалу люпину вузьколистого залежно від елементів технології вирощування. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія «Агрономія». 2016. Вип. 235. С. 109–120.

Ратошняк В.І., Гаврилюк М.М. Люпин вузьколистий – культура універсального використання у зоні Полісся України. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 8 (809). С. 26–37. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202008-04>.

Стахів М.П., Швартау В.В. Визначення рівнів доступного фосфору у ґрунті для високпродуктивних сортів озимої пшениці. *Науковий вісник Ужгородського університету*. Серія «Біологія». 2008. Вип. 22. С. 5–8.

Ткачук В.П., Котельницька Г.М., Тимошук Т.М., Саюк О.А. Продуктивність люпину вузьколистого залежно від добрив на дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах. *Наукові горизонти*. 2019. № 1 (74). С. 25–32. <https://doi.org/10.332491/2663-2144-2019-74-1-25-32>.

Чоловський Ю.М. Формування індивідуальної та зернової продуктивності люпину вузьколистого залежно від доз та строків внесення мінеральних добрив в умовах правобережного Лісостепу України. *Корми і кормовиробництво*. 2008. № 63. С. 131–135.

Xu S., An L., Feng H., et al. The seasonal effects of water stress on *Ammopiptanthus mongolicus* in a desert environment. *J. of Arid Environments*. 2002. 51. P. 437–447.

#### References

Holodna, A.V. (2021). Rist i rozvytok roslyn liupynu vuzkolystoho ta urozhainist zalezchno vid variantiv udobrennia y biolohichnykh preparativ [Growth and development of narrow-leaved lupine plants and yield depending on fertilization options and biological preparations]. *Kormy i kormovyrobnytstvo [Fodder and fodder production]*, 92, 54–61. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202192-05> [in Ukrainian].

- Holodna, A.V. (2018). Tekhnolohichni aspekty vyroshchuvannia kormovykh liupyniv u zoni Lisostepu Ukrainy [Technological aspects of growing forage lupins in the Forest-Steppe zone of Ukraine]. Vynnytsia: TOV «TVORY», 380 p. [in Ukrainian].
- Kaminskyi, V.F. (2004). Znachennia ta shliakhy stabilizatsii vyrobnytstva zernobobovykh kultur v Ukraini [The significance and ways of stabilizing the production of leguminous crops in Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats Instytutu zemlerobstva. Spetsvypusk [Collection of scientific works of the Institute of Agriculture. Special issue]*, 138–143 [in Ukrainian].
- Korovetska, H., Dzhura, N., Tsvilyniuk, O., Terek, O., Dyno, Z., & Shymon, L., (2009). Makroelementnyi sklad roslyn CAREX HIRTA L. za dii naftovoho zabrudnennia gruntu [Macronutrient composition of Carex hirta L. plants under the influence of oil contamination of the soil]. *Visnyk Lvivskoho universytetu [Bulletin of Lviv University]*, 50, 182–188. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-86-1-22-28> [in Ukrainian].
- Kotelnytska, H.M. (2020). Ekonomichna efektyvnist elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia liupynu vuzkolystoho v umovakh Polissia [Economic efficiency of elements in the technology for growing narrow-leaved lupine under Polissya conditions]. *Naukovi horyzonty [Scientific horizons]*, 01 (86), 22–28 [in Ukrainian].
- Marchuk, I.U., Makarenko, V.M., Rozstalnyi, V. Ie., & Savchuk, A.V. (2002). Dobryva ta yikh vykorystannia [Fertilizers and their use]. Kyiv. 242 p. [in Ukrainian].
- Mineralni elementy i dobryva v zhyvlenni roslyn. (2005). [Mineral elements and fertilizers in plant nutrition]. Za red. S.Ia. Kots, N.V. Peterson. K. : Lohos. 150 p. [in Ukrainian].
- Moisiienko, V.V, & Panchyshyn, V.Z. (2014). Naukovi zdobutky ta perspektyvy vyroshchuvannia liupynu kormovoho v Ukraini [Scientific achievements and prospects for growing forage lupine in Ukraine]. *Visnyk ZhNAEU [Bulletin of ZhNAEU]*, 2 (42), 1.214, 112–125 [in Ukrainian].
- Petrychenko, V.F., Lykhochvor, V.V., Kolisnyk, S.I., Voronetska, I.S., & Kobak, S.Ya. (2018). Obgruntuvannia intensyfikatsii vyrobnytstva zernobobovykh kultur v Ukraini [Substantiation of intensity of characteristics of leguminous crops in Ukraine]. *Web of Scholar*, 6 (4), 22–29. [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_wos/12062018/57\\_69](https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/12062018/57_69) [in Ukrainian].
- Ratoszniuk, V.I. (2016). Formuvannia zahalnoho ta aktyvnoho symbiotychnoho potentsialu liupynu vuzkolystoho zalezno vid elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia [Formation of the overall and active symbiotic potential of narrow-leaved lupine depending on the elements of the cultivation technology]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Serii «Akhronomiia» [Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. "Agronomy" series]*, 235, 109–120 [in Ukrainian].
- Ratoszniak, V.I., & Havryliuk, M.M. (2020). Liupyn vuzkolystyi – kultura universalnoho vykorystannia u zoni Polissia Ukrainy [Narrow-leaved lupine – a crop of universal use in the Polissya region of Ukraine]. *Visnyk aharmoi nauky [Herald of Agrarian Science]*, 8 (809), 26–37. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202008-04> [in Ukrainian].
- Stakhiv, M. P., & Shvartau, V. V. (2008). Vyznachennia rivniv dostupnoho fosforu u grunti dlia vysokoproduktyvnykh sortiv ozymoi pshenytsi [Determination of available phosphorus levels in the soil for high-yielding varieties of winter wheat]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Serii «Biologiia» [Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series "Biology"]*, 22, 5–8 [in Ukrainian].
- Tkachuk, V.P., Kotelnytska, H.M., Tymoshchuk, T.M., & Saiuk, O.A. (2019). Produktivnist liupynu vuzkolystoho zalezno vid dobryv na dernovo-pidzolystrykh supishchanykh hrantakh [Productivity of narrow-leaved lupine depending on fertilizers on sod-podzolic sandy loam soils]. *Naukovi horyzonty [Scientific horizons]*, 1 (74), 25–32. <https://doi.org/10.332491/2663-2144-2019-74-1-25-32> [in Ukrainian].
- Cholovskiy, Yu.M. (2008). Formuvannia Individualnoyi ta zernovoyi produktivnosti liupinu vuzkolistogo zalezno vid doz ta strokiv vnesennya mineralnih dobriv v umovah Pravoberezhnogo Lisostepu Ukrayini [Formulan Individualno i that grain productivity liupine vuzkolistoy zalezno id doses and strinin introduced by mineral dobriv in the minds of the Right Bank Ukraine Steppe]. *Kormy i kormovyrobnytstvo [Fodder and fodder production]*, 63, 131–135 [in Ukrainian].
- Xu, S., An, L., & Feng, H., et al., (2002). The seasonal effects of water stress on *Ammopiptanthus mongolicus* in a desert environment. *J. of Arid Environments*, 51, 437–447 [in English].

Отримано: 23.07.2024  
Прийнято: 06.08.2024



УДК 632.981:631.527.5:633.854.78(292.485:477.4)  
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.27>

## ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЙ ГЕРБИЦИДНОГО ЗАХИСТУ ТА МОНІТОРИНГ ФІТОПАТОГЕННОГО СТАНУ ГІБРИДІВ СОНЯШНИКУ В ЦЕНТРАЛЬНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Т. П. Костина<sup>1</sup>, Ю. О. Куманська<sup>2</sup>, Н. С. Дубовик<sup>3</sup>, В. Я. Сабадін<sup>4</sup>

*Соняшник є основною олійною культурою в сільському господарстві. Тому дослідження впливу різних технологій гербицидного захисту та фітопатогенного стану посівів соняшнику є досить актуальними. Дослідження виконувалися в умовах центрального Лісостепу України впродовж 2021–2023 рр. Визначено вплив технологій гербицидного захисту на формування висоти рослин, діаметр кошиків, вмісту олії, урожайність та фітопатогенного стану гібридів соняшнику. Вивчали дванадцять гібридів соняшнику різного походження. Застосовували для досліджень на соняшнику класичну, Експрес (або СУМО), Clearfield® Plus (КЛП) технології гербицидного захисту. Відмічено, що за Express Sun (або СУМО) технологією гербицидного захисту рослини соняшнику сформували найбільшу висоту рослин та виділено гібриди П64ЛЕ25 (206 см) і ЕС АРОМАТИК СУ (200 см). За класичної технології виділено гібрид ЕС Белламіс СА, який протягом трьох років досліджень мав найбільше середнє значення висоти рослин – 200 см. У гібридів П64ЛП130, СИ Бакарді КЛП за Clearfield® Plus (КЛП) технології гербицидного захисту отримано найвищу висоту рослин 190 і 187 см відповідно. Найбільше середнє значення діаметра кошика соняшнику отримано у гібриду СИ Бакарді КЛП (22,4 см) за Clearfield® Plus (КЛП) технологією. Деякі менші показ-*

<sup>1</sup> кандидат сільськогосподарських наук  
керівник напрямку відділу насіння  
(ТОВ «БАСФ Т.О.В» м. Київ)  
e-mail: kostyna.taras@gmail.com  
ORCID: 0009-0007-4009-5576

<sup>2</sup> кандидат сільськогосподарських наук, доцент  
доцент кафедри генетики, селекції і насінництва сільськогосподарських культур  
(Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква)  
e-mail: kumanska@i.ua  
ORCID: 0000-0001-5945-5737

<sup>3</sup> кандидат сільськогосподарських наук  
доцент кафедри генетики, селекції і насінництва сільськогосподарських культур  
(Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква)  
e-mail: natalyadubovik25@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-1473-9565

<sup>4</sup> кандидат сільськогосподарських наук, доцент  
доцент кафедри генетики, селекції і насінництва сільськогосподарських культур  
(Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква)  
e-mail: sabadin@ukr.net  
ORCID: 0000-0002-8397-8973

ники отримано у гібридів ЕС АРОМАТИК СУ (21,9 см) та СУЗУКА (21,3 см) за Express Sun (або СУМО) технологією гербіцидного захисту. За урожайністю з ділянки, виділено гібриди: СУЗУКА (11,15 кг), ЕС АРОМАТИК СУ (11,05 кг) і П64ЛЕ25 (10,84 кг) (Clearfield® Plus (КАП) технологія); ЛГ5580 (11,13 кг) і НК КОНДІ (10,88 кг) (Express Sun (або СУМО) технологія); ЕС ГЕНЕЗІС (10,93 кг) і ЛГ5555 КАП (10,13 кг) (класична технологія). У середньому за три роки гібрид ЛГ5580 сформував найбільшу урожайність 4,0 т/га за технології Express Sun (або СУМО), децю меншу отримано у гібриду ЕС ГЕНЕЗІС – 3,93 т/га (класична технологія). За Clearfield® Plus (КАП) технологією гербіцидного захисту гібриди П64ЛЕ25, ЕС АРОМАТИК СУ і СУЗУКА сформували урожайність 3,86 т/га, 3,95 т/га і 3,98 т/га відповідно. Найвищий вміст олії отримано у гібридів за Express Sun технології (або СУМО): НК КОНДІ – 49,6%; ЕС Белламис СЛ – 48,1%; ЛГ5580 – 48,6% і ПР64Ф66 – 47,2%. За фітопатологічним моніторингом визначено, стійкість проти іржі у гібридів ЛГ5580 (за Clearfield® Plus (КАП) технологією гербіцидного захисту) та ЕС ГЕНЕЗІС (за класичною технологією) – 7,8% та 9,4% відповідно. Всі досліджувані гібриди соняшнику були стійкими проти білої гнилі. Гібрид П64ЛП130 проявив дуже високу стійкість (0% ураження) щодо цієї хвороби за класичною технологією гербіцидного захисту.

**Ключові слова:** соняшник, гібриди, висота рослин, діаметр кошиків, вміст олії, урожайність, гербіцидний захист, хвороби соняшнику.

## EVALUATION OF HERBICIDE PROTECTION TECHNOLOGIES AND MONITORING OF PHYTOPATHOGENIC STATE OF SUNFLOWER HYBRIDS IN THE CENTRAL FOREST-STEPPE OF UKRAINE

**T. P. Kostyna, Yu. O. Kumanska, N. S. Dubovyk, V. Ya. Sabadyn**

Sunflower is the main oilseed crop in agriculture. Therefore, studies of the impact of different herbicide protection technologies and the phytopathogenic state of sunflower crops are quite relevant. The research was carried out in the central Forest-Steppe of Ukraine during 2021–2023. The influence of herbicide protection technologies on the formation of plant height, basket diameter, oil content, yield and phytopathogenic state of sunflower hybrids was determined. Twelve sunflower hybrids of different origin were studied. Classical, Express (or SUMO), and Clearfield® Plus (CLP) herbicide protection technologies were used for sunflower research. It was noted that the Express Sun (or SUMO) technology of herbicide protection of sunflower plants formed the highest plant height and the hybrids P64LE25 (206 cm) and ES AROMATIC SU (200 cm) were selected. According to the classical technology, the hybrid ES Bellamis SL was selected, which had the highest average plant height of 200 cm during the three years of research. The hybrids P64LP130, SI Bacardi CLP under Clearfield® Plus (CLP) herbicide protection technology obtained the highest plant height of 190 and 187 cm, respectively. The highest average value of the diameter of the sunflower basket was obtained in the hybrid CI Bacardi CLP (22.4 cm) under Clearfield® Plus (CLP) technology. Slightly lower values were obtained for the hybrids ES AROMATIC SU (21.9 cm) and SUZUKA (21.3 cm) using Express Sun (or SUMO) herbicide protection technology. The hybrids were selected by yield per plot: SUZUKA (11.15 kg), ES AROMATIC SU (11.05 kg) and P64LE.

**Key words:** sunflower, hybrids, plant height, diameter of baskets, oil content, yield, herbicide protection, sunflower diseases.

### Вступ

В Україні соняшник є основною олійною культурою у сільському господарстві. За господарським значенням він не поступається таким важливим та розповсюдженим культурам, як пшениця, соя, кукурудза тощо. За посівними площами він займає третє місце в світі. Зростання площ під соняшником вказує на високий рівень економічної ефективності його вирощування в країні. Виробництво олійних культур відіграє важливу роль у забезпеченні населення цінними продуктами харчування, галузі тваринни-

цтва – поживним кормом, переробної промисловості – сировиною (Троценко, 2001; Kantar et al., 2015; Андрієнко, 2017; Ільків, 2019; Тимошук та ін., 2022; Мазур та ін., 2023). Передумовами збільшення виробництва соняшнику в Україні є відмінний потенціал родючості ґрунтів, нові високоадаптивні гібриди, а також використання інтенсивних технологій вирощування соняшнику, котрі включають покращені системи удобрення посівів, збалансовані системи захисту рослин та ефективне механізоване обладнання (Ткачук та ін., 2023).

Постійні зміни клімату та не дотримання сівозміни призводить до значного погіршення фітосанітарного стану посівів соняшнику (Коковіхін та ін., 2015; Ільків, 2019; Поспелов та ін., 2021). Вирощувати культуру стає дедалі складніше, тому аграрії віддають перевагу якісному насінневому матеріалу провідних селекційних компаній, котрі у створенні гібридів враховують усі сучасні виклики рослинництва, в тому числі й кліматичні. Найчастіше зустрічаються гібриди селекції Syngenta, Limagrain, DuPontPioneer та ін. (Ільків, 2019).

Останніми роками відбувається зростання посівних площ соняшнику, в тому числі в зонах, які є не зовсім характерні для нього, таких як Північний і Західний Лісостеп та Полісся України. Постійне збільшення площ призводить до недотримання сівозмін у господарствах, що призводить до розміщення соняшнику після соняшнику, а також до накопичення рослинних решток на полях, підвищення засміченості посівів бур'янами, які є носіями збудників хвороб. Ці фактори сприяють поширенню хвороб і шкідників, що призводить до географічного розповсюдження збудників хвороб та їх шкодочинності (Поспелов та ін., 2021; Ткачук та ін., 2023).

Погіршення фітосанітарного стану агроценозів соняшнику призводить до збільшення у 7–8 разів забур'яненості, зокрема поширення бур'яну-паразиту вовчку соняшникового, збільшення зростання захворювань, таких як несправжня борошніста роса та склеротинія, а також порушення водного та поживного балансу (Ткачук та ін., 2023).

Сучасні вимоги аграрних ринків та високий ступінь залежності виробників від результатів комерційної діяльності призвели до зменшення асортименту сільськогосподарських культур, тому це вимагає врахування екологічних вимог та ефективних систем захисту рослин, на основі новітніх агротехнологій та сортів (гібридів) сільськогосподарських культур (Ільків, 2019; Ткачук та ін., 2023).

Соняшник має значний перелік спільних збудників захворювань з іншими культурами. Наприклад, біла гниль соняшнику поширена на ріпакові й сої, а фомосис та іржа також уражують такі бур'яни, як нетреба звичайна, та канатник, а вертицильоз і альтернаріоз уражують майже всі дводольні рослини (Соловійов, 2020).

Проведення своєчасних захисних заходів проти хвороб дозволяє підвищити валові

збори врожаю та покращити його якість. Біологічний потенціал сортів та гібридів олійних культур залежить від технології вирощування і кліматичних умов конкретного року (Бондаренко, 2003; Kantar et al., 2015; Андрієнко, 2017; Мазур та ін., 2023).

Важливим елементом технології вирощування соняшнику є надійна боротьба з бур'янами. Особливо застосування гербіцидного захисту від широкого спектру бур'янів і відсутність фітотоксичності для сільськогосподарських культур (Орлов, 2024).

Захист посівів соняшнику від бур'янів є суттєвим саме для усунення конкуренції рослин культури з бур'янами і відповідно втрат урожаю. Особливого значення для ефективного захисту соняшнику від бур'янів відіграє вибір гербіцидів. На світовому ринку відома значна кількість сполук із гербіцидними властивостями, але для боротьби з бур'янами на соняшнику застосовується близько двохсот, однак їх асортимент постійно поповнюється та оновлюється (Pfenning et al., 2008; Мазур та ін., 2023).

Найбільш поширеними хворобами соняшнику є біла і сіра гниль, фомоз, альтернаріоз, пероноспороз, фузаріозне в'янення септоріозу та ін. Ці хвороби призводять до зниження вмісту олії, врожайності, а також можуть виділяти токсини, які викликають загибель рослини (Ретьман та ін., 2018; Мельничук та ін., 2020). В результаті цього виникає залежність щодо їх поширення і з біологічними втратами врожаю, котрі можуть сягати до 50% (Markell et al., 2015; Gulya et al., 2019).

Метою наших досліджень було визначити вплив різних технологій гербіцидного захисту на формування висоти рослин, діаметра кошика, вміст олії у насінні, врожайність та провести фітопатогенний моніторинг хвороб у різних генотипів соняшнику.

#### **Матеріал і методи**

Дослідження проводили на орендіваних землях ТОВ «Агробіос» с. Черкас, Білоцерківського району Київської області (центральний Лісостеп). Сівбу здійснювали селекційною сівалкою ZÜRNB D98 з глибиною загортання 5 см та нормою висіву 60 тис., схожих насінин на 1 га. Ділянки розміщували за повною рандомізованою схемою в триразовій повторності. Збір врожаю проводили селекційним комбайном ZÜRNB 170 з соняшnikовою жаткою. Облікова площа ділянки – 27 м<sup>2</sup>.

Вивчали дванадцять гібридів соняшнику СИ Бакарді КЛП, НК Конді, СУЗУКА,

(Syngenta Crop Protection AG), ЛГ5555 КЛП, ЛГ5580, ЛГ59580 (Limagrain Europe), ЕС ГЕНЕЗІС, ЕС Белламис СЛ, ЕС АРОМАТИК СУ (Euralis Semences), П64ЛП130, ПР64Ф66, П64ЛЕ25 (Pioneer Overseas Corporation).

Досліджували гібриди соняшнику застосовуючи класичну, Експрес (або СУМО), Clearfield® Plus (КЛП) технологію гербіцидного захисту, а саме:

– гібриди НК Конді, ЛГ5580, ЕС Белламис СЛ, ПР64Ф66 під класичну технологію;

– гібриди СУЗУКА, ЛГ59580, ЕС АРОМАТИК СУ, П64ЛЕ25 під Express Sun (або СУМО) технологію;

– гібриди СИ Бакарді КЛП, ЛГ5555 КЛП, ЕС ГЕНЕЗІС, П64ЛП130 під Clearfield® Plus (КЛП) технологію.

Класична технологія – із використанням ґрунтових та післясходових гербіцидів та грамініцидів із елементами механічного контролю.

Express Sun технологія фірми Dupont – складається з гібридів соняшнику Піонер, стійких до гербіциду Експрес, в. г. (трибенурон-метил, 750 г/л) або гібриди інших компаній стійкі до препаратів на основі трибенурон-метилу.

Clearfield® Plus технологія фірми BASF – на основі стійкості гібридів соняшнику до гербіцидів імідазолінової групи.

В польових умовах у посівах соняшнику обліковували хвороби за симптоматичними ознаками. Оскільки на рослинах одночасно можуть розвиватися декілька збудників хвороб, обстеження посівів проводиться в певні періоди вегетації культури відразу на декілька хвороб згідно загально прийнятих методик (Фокін, 2010; Боровська та ін., 2013).

Характеристики вологозабезпеченості умов для росту рослин соняшнику обраховували за середньомісячним гідротермічним коефіцієнтом (ГТК) (Трибель та ін., 2001). Користувались диференціацією показників ГТК: від 0,5 до 1,0 – засушливий чи сухий період; від 1,0 до 1,5 – нормальний; понад 1,5 – вологий, або надмірно вологий період.

### Результати та їх обговорення

Роки досліджень характеризувалися контрастними гідротермічними умовами. У центральній частині Лісостепу у травні – вересні 2021 р. та 2022 р. кількість опадів зменшилась на 214,7 мм та 212,8 мм відповідно. Загальна кількість опадів у 2023 році була меншою, ніж у попередні роки (128,6 мм).

ГТК за період досліджень за місяцями 2021–2023 рр., варіювали від 0,1 (опадів

практично не випадало) до 1,4 (достатньо волого). Дуже сильна посуха (ГТК < 0,4) відмічена: у липні 2021 р.; у 2022 р. – червень та липень; у 2023 р. – травень, серпень та вересень. Середня посуха (ГТК від 0,4 до 0,7) – у червні 2021 р., травні 2022 р. та червні 2023 р. Слабка посуха (ГТК 0,8 до 0,9) – у вересні 2023 р. Достатньо волого (ГТК 1,0 до 1,5) – у травні, серпні та вересні 2021 р., та у серпні, вересні 2022 р.

Середня температура повітря за три роки досліджень була дещо вища за середньо багаторічну у червні (18,0 °С) – 2021 р. на 2,2 °С, 2022 р. на 3,0 °С, 2023 р. на 1,3 °С; у липні (19,7 °С) – 2021 р. на 3,6 °С, 2022 р. 1,0 °С, 2023 р. на 1,1 °С; та серпні (19,0 °С). – 2021 р. на 1,2 °С, 2022 р. на 2,2 °С, 2023 р. на 3,9 °С.

Одним із важливих факторів, в умовах Лісостепу України, який впливає на продуктивність соняшнику, є стійкість до вилягання. Важливу роль у цьому відіграє такий показник, як висота рослини. Висота рослин є генетично обумовленим показником, але вплив погодних умов на його формування є істотним. Висота рослин досліджуваних гібридів протягом 2021–2023 рр. коливалася у середньому від 176 см – гібрид ЛГ5555 КЛП до 206 см – гібрид П64ЛЕ25 (рис. 1).

За Express Sun (або СУМО) технологією гербіцидного захисту у гібридів П64ЛЕ25 9 (206 см) і ЕС АРОМАТИК СУ (200 см) рослини соняшнику сформували найбільшу висоту рослин. За класичною технологією, використовуючи ґрунтові та післясходові гербіциди та грамініциди із елементами механічного контролю, гібрид ЕС Белламис СЛ протягом трьох років досліджень сформував найбільше середнє значення висоти рослин – 200 см. Високу висоту рослин показали гібриди П64ЛП130 (190 см), СИ Бакарді КЛП (187 см) (Clearfield® Plus (КЛП) технологія).

Визначаючи структуру врожаю, слід зазначити найбільшу важливість таких показників, як діаметр кошика, так як існує кореляція між розміром кошика та урожайністю насіння. Найменше середнє значення діаметра кошика за роки досліджень зафіксовано у гібриду ЕС Белламис СЛ – 16,7 см та найбільше у гібриду ЛГ5580 – 19,7 см за класичної технології гербіцидного захисту (рис. 2).

За три роки досліджень, найбільше середнє значення діаметра кошика соняшнику визначили у гібриду СИ Бакарді КЛП (22,4 см) за Clearfield® Plus (КЛП) техноло-



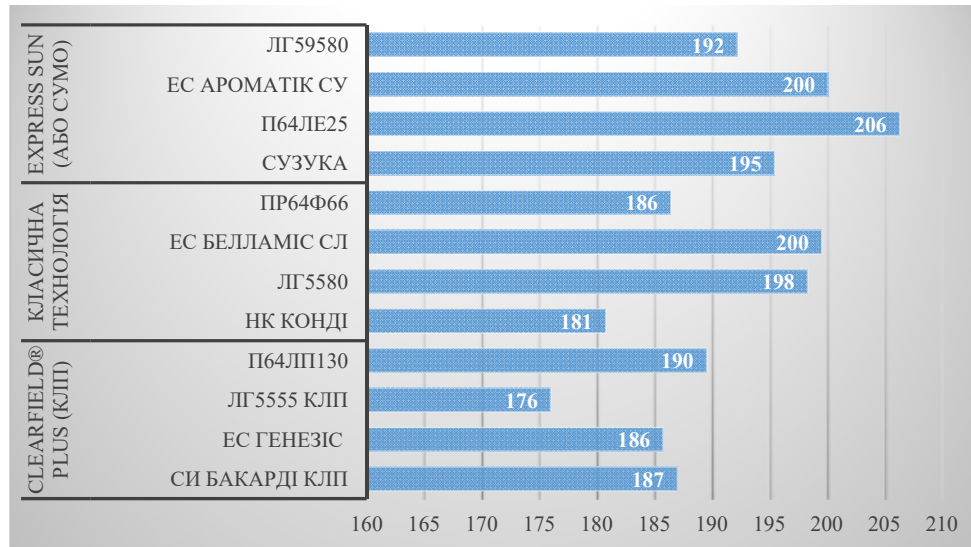


Рис. 1. Середнє значення висоти рослин (см) гібридів соняшнику за 2021–2023 рр.

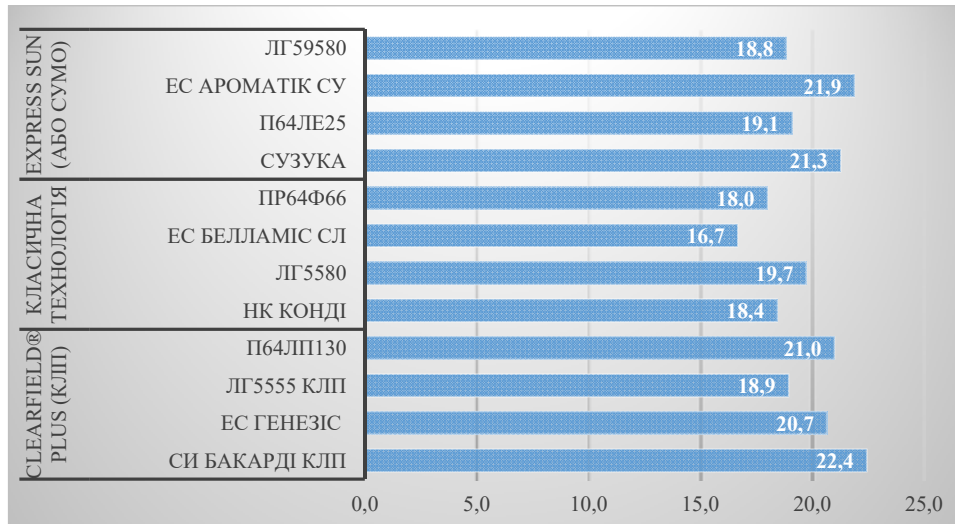


Рис. 2. Середнє значення діаметра кошика (см) за 2021–2023 рр.

гією. Високі середні показники також отримали у гібридів ЕС АРОМАТІК СУ (21,9 см) та СУЗУКА (21,3 см) за Express Sun (або СУМО) технологією.

Слід відмітити, що гібриди соняшнику СУЗУКА і ЕС АРОМАТІК СУ, які вирощували за Express Sun (або СУМО) технологією гербіцидного захисту мали більше середнє значення діаметра кошику порівняно з класичною технологією.

З огляду на агрометеорологічні умови вирощування гібридів соняшнику та їх генетичний потенціал протягом 2021–2023 рр. досліджень у центральному Лісостепу України у фазу технічної стиглості визначали урожайність досліджуваних гібридів, вона була перерахована на вологість 8%.

За класичною технологією гербіцидного захисту, за урожайністю з ділянки, кращими були гібриди ЕС ГЕНЕЗІС (10,93 кг) і ЛГ5555 КЛП (10,13 кг) (табл. 1).

Кращими були гібриди ЛГ5580 (11,13 кг) і НК КОНДІ (10,88 кг) за Express Sun (або СУМО) технологією гербіцидного захисту.

За Clearfield® Plus (КЛП) технологією гербіцидного захисту зафіксовано найвищу урожайність з ділянки у гібридів: СУЗУКА (11,15 кг), ЕС АРОМАТІК СУ (11,05 кг) і П64ЛЕ25 (10,84 кг).

У середньому за три роки гібрид ЛГ5580 мав найвищу урожайність 4,0 т/га за технології Express Sun (або СУМО) (табл. 2).

За класичною технологією гербіцидного захисту кращим був гібрид ЕС

Таблиця 1

Урожайність гібридів соняшнику з ділянки (кг) залежно від технології гербіцидного захисту, середнє за 2021–2023 рр.

Гібрид	Походження	Технології гербіцидного захисту, $\bar{x} \pm S\bar{x}$		
		Класична	Express Sun (або СУМО)	Clearfield® Plus (КЛП)
СИ БАКАРДІ КЛП	Syngenta Crop Protection AG	9,23±0,79	-	-
НК КОНДІ		-	10,88±1,24	-
СУЗУКА		-	-	11,15±0,09
ЕС ГЕНЕЗІС	Euralis Semences	10,93±0,19	-	-
ЕС Белламiс СЛ		-	9,97±0,98	-
ЕС АРОМАТІК СУ		-	-	11,05±0,02
ЛГ5555 КЛП	Limagrain Europe	10,13±0,37	-	-
ЛГ5580		-	11,13±0,61	-
ЛГ59580		-	-	8,77±0,46
П64 ЛП130	Pioneer Overseas Corporation	9,77±0,55	-	-
ПР64Ф66		-	9,12±0,20	-
П64ЛЕ25		-	-	10,84±0,08

Примітка:  $\bar{x} \pm S\bar{x}$  – середнє арифметичнє ± помилка середнього

Таблиця 2

Урожайність гібридів соняшнику (т/га) залежно від технології гербіцидного захисту, середнє за 2021–2023 рр.

Гібрид	Походження	Технології гербіцидного захисту, $\bar{x} \pm S\bar{x}$		
		Класична	Express Sun (або СУМО)	Clearfield® Plus (КЛП)
СИ БАКАРДІ КЛП	Syngenta Crop Protection AG	3,30±0,28	-	-
НК КОНДІ		-	3,88±0,45	-
СУЗУКА		-	-	3,98±0,03
ЕС ГЕНЕЗІС	Euralis Semences	3,93±0,05	-	-
ЕС Белламiс СЛ		-	3,57±0,34	-
ЕС АРОМАТІК СУ		-	-	3,95±0,01
ЛГ5555 КЛП	Limagrain Europe	3,65±0,16	-	-
ЛГ5580		-	4,00±0,20	-
ЛГ59580		-	-	3,16±0,14
П64 ЛП130	Pioneer Overseas Corporation	3,51±0,18	-	-
ПР64Ф66		-	3,28±0,04	-
П64ЛЕ25		-	-	3,86±0,01

Примітка:  $\bar{x} \pm S\bar{x}$  – середнє арифметичнє ± помилка середнього

ГЕНЕЗІС – 3,93 т/га. За Clearfield® Plus (КЛП) технологією гербіцидного захисту гібриди П64ЛЕ25, ЕС АРОМАТІК СУ і СУЗУКА мали урожайність, у середньому за три роки, 3,86 т/га, 3,95 т/га і 3,98 т/га відповідно.

Аналізуючи гібриди соняшнику за трьома технологіями гербіцидного захисту на вміст олії, протягом трьох років досліджень, встановили, що за всіх технологій вміст олії коливався від 45,4% (СИ БАКАРДІ КЛП) до 49,6% (НК КОНДІ) (табл. 3).

Найвищий вміст олії був у гібридів за Express Sun технології (або СУМО).

У гібридів: НК КОНДІ – 49,6%; ЕС Белламiс СЛ – 48,1%; ЛГ5580 – 48,6% і ПР64Ф66 – 47,2%.

Отже, забезпечили кращу урожайність і сформували високу якість насіння гібриди П64ЛЕ25 (3,86 т/га), вміст олії – 47,2%; ЕС АРОМАТІК СУ (3,95 т/га), вміст олії – 47,1% і СУЗУКА (3,98 т/га), вміст олії – 47,7% за Clearfield® Plus (КЛП) технологією гербіцидного захисту. За технології Express Sun (або СУМО) найкращим був гібрид ЛГ5580 (4,0 т/га), вміст олії – 48,6%.

Дослідження протягом трьох років показали, що погодні умови сприяли розвитку

Таблиця 3

Вміст олії (%) у гібридів соняшнику залежно від технології гербіцидного захисту, середнє за 2021–2023 рр.

Гібрид	Походження	Технології гербіцидного захисту, $\bar{x} \pm S\bar{x}$		
		Класична	Express Sun (або СУМО)	Clearfield® Plus (КАП)
СИ БАКАРДІ КАП	Syngenta Crop Protection AG	45,4±0,70	-	-
НК КОНДІ		-	49,6±0,55	-
СУЗУКА		-	-	47,7±0,87
ЕС ГЕНЕЗІС	Euralis Semences	48,7±1,11	-	-
ЕС Белламис СЛ		-	48,1±1,75	-
ЕС АРОМАТИК СУ		-	-	47,1±0,17
ЛГ5555 КАП	Limagrain Europe	48,5±0,74	-	-
ЛГ5580		-	48,6±0,93	-
ЛГ59580		-	-	46,8±0,09
П64 ЛП130	Pioneer Overseas Corporation	47,9±0,05	-	-
ПР64Ф66		-	47,2±1,00	-
П64ЛЕ25		-	-	48,6±0,88

Примітка:  $\bar{x} \pm S\bar{x}$  – середнє арифметичнє  $\pm$  помилка середнього

збудників хвороб. У 2021 р. (ГТК 0,9) відмічено епіфітотію сірої гнилі проте, відсутність білої гнилі. У 2022 р. (ГТК 0,7) спостерігали низький та середній розвиток шести збудників хвороб. Однак, у 2023 р. (ГТК 0,4) розвиток сірої гнилі та септоріозу був відсутнім, розвиток іржі спостерігали лише на 2 гібридах. Розвиток фомозу, фомопсису та білої гнилі був низьким або середнім.

Фітопатологічний моніторинг гібридів соняшнику СИ Бакарді КАП, НК Конді,

СУЗУКА, (Syngenta Crop Protection AG); ЛГ5555 КАП, ЛГ5580, ЛГ59580 (Limagrain Europe); П64ЛП130, ПР64Ф66, П64ЛЕ25 (Pioneer Overseas Corporation); ЕС ГЕНЕЗІС, ЕС Белламис СЛ, ЕС АРОМАТИК СУ (Euralis Semences), показав, що до іржі, протягом трьох років досліджень, стійкість виявили у гібридів ЛГ59580 та ЕС ГЕНЕЗІС – 7,8% та 9,4% відповідно (табл. 4).

Середньою стійкістю проти фомопсису (15,1%–16,2%) характеризувалися гібриди:

Таблиця 4

Фітопатологічний моніторинг гібридів соняшнику залежно від технології гербіцидного захисту, середнє за 2021–2023 рр.

Гібрид	Інтенсивність ураження збудниками хвороб, %, $\bar{x} \pm S\bar{x}$					
	Іржа	Фомопсис	Біла гниль	Сіра гниль	Септоріоз	Фомоз
Класична технологія гербіцидного захисту						
СИ Бакарді КАП	33,9±20,9	20,3±4,2	7,2±4,4	42,8±25,5	21,7±12,7	13,3±3,9
ЕС ГЕНЕЗІС	9,4±4,8	23,8±5,3	8,3±4,5	46,1±27,4	20,0±11,8	16,1±2,0
ЛГ5555 КАП	33,3±19,6	20,7±5,5	7,8±4,4	45,0±26,5	22,8±13,2	16,7±4,9
П64ЛП130	35,6±21,1	21,8±4,0	0,0±0	45,6±27,0	21,7±12,7	20,0±5,9
Express Sun (або СУМО) технологія гербіцидного захисту						
НК Конді	47,8±12,8	16,0±9,7	7,8±4,4	46,1±27,4	20,6±12,3	18,9±6,4
ЕС Белламис СЛ	31,7±18,6	16,2±6,5	7,8±4,4	42,8±25,5	22,2±13,2	10,0±2,9
ЛГ5580	31,1±19,8	15,1±7,9	7,2±4,4	44,8±26,8	21,7±12,7	11,1±2,5
ПР64Ф66	35,6±21,1	30,0±0	7,2±4,4	45,6±27,0	24,4±14,7	17,8±6,9
Clearfield® Plus (КАП) технологія гербіцидного захисту						
СУЗУКА	32,8±19,6	28,8±0,5	6,1±3,5	44,4±26,5	21,1±12,7	11,7±2,0
ЕС АРОМАТИК СУ	47,8±10,8	15,4±9,2	7,2±4,0	43,9±26,0	21,7±12,7	11,1±2,5
ЛГ59580	7,8±4,4	24,3±5,8	7,8±4,4	43,9±26,0	23,9±13,7	16,1±2,0
П64ЛЕ25	35,6±21,1	20,4±7,3	7,8±4,4	44,4±26,5	20,6±12,3	16,1±4,9

Примітка:  $\bar{x} \pm S\bar{x}$  – середнє арифметичнє  $\pm$  помилка середнього

ЛГ5580, НК Конді, ЕС АРОМАТИК СУ і ЕС Белламіс СЛ.

Всі досліджувані гібриди були стійкими проти білої гнилі. Гібрид П64ЛП130 проявив дуже високу стійкість (0% ураження).

Відмічено високий розвиток сірої гнилі (від 42,8% до 46,1%), це пояснює епіфітотія цієї хвороби у 2021 р. проте, спостерігали відсутність розвитку збудника цієї хвороби у 2023 р.

Середнім був розвиток септоріозу (від 20,0% до 24,4%), проте, у 2023 р. розвиток цієї хвороби був відсутній.

Розвиток збудника фомозу був середнім та незначним (від 10,0% до 20,0%), він проявлявся на гібридах соняшнику щорічно за всіма технологіями гербіцидного захисту.

### Висновки

1. Визначено, що за Express Sun (або СУМО) технологією гербіцидного захисту гібриди соняшнику П64ЛЕ25 (206 см) і ЕС АРОМАТИК СУ (200 см) сформували найбільшу висоту рослин. Також за класичної технології у гібриду ЕС Белламіс СЛ отримано високий показник ознаки – 200 см.

2. Найбільше середнє значення діаметра кошика соняшнику визначено у гібриду СИ Бакарді КЛП (22,4 см) за Clearfield®

Plus (КЛП) технологією та у гібридів ЕС АРОМАТИК СУ (21,9 см) та СУЗУКА (21,3 см) за Express Sun (або СУМО) технологією гербіцидного захисту.

3. Виділено гібриди за урожайністю з ділянки: СУЗУКА (11,15 кг), ЕС АРОМАТИК СУ (11,05 кг) (Clearfield® Plus (КЛП) технологія); ЛГ5580 (11,13 кг) (Express Sun (або СУМО) технологія).

4. Найбільшу урожайність отримано у гібриду ЛГ5580 – 4,0 т/га за технології Express Sun (або СУМО), дещо меншу в гібридів ЕС АРОМАТИК СУ (3,95 т/га) і СУЗУКА (3,98 т/га) (Clearfield® Plus (КЛП) технологія).

5. Найвищий вміст олії одержано у гібридів за Express Sun технології (або СУМО): НК КОНДІ – 49,6%; ЕС Белламіс СЛ – 48,1%; ЛГ5580 – 48,6% і ПР64Ф66 – 47,2%.

6. Стійкість проти іржі виявили у гібридів ЛГ59580 (за Clearfield® Plus (КЛП) технологією гербіцидного захисту) та ЕС ГЕНЕЗІС (за класичною технологією) – 7,8% та 9,4% відповідно. Всі досліджувані гібриди були стійкими проти білої гнилі. Гібрид П64ЛП130 проявив дуже високу стійкість (0% ураження) щодо цієї хвороби за класичною технологією гербіцидного захисту.

### Список використаної літератури

Андрієнко О.О. Інфекційні хвороби як фактор вилягання соняшнику. *Збірник наукових праць кафедри загального землеробства Центральноукраїнського національного технічного університету*. Кропивницький, 2017. С. 15–19.

Бондаренко М.П. Вплив агротехнічних прийомів на урожайність і якість насіння соняшнику в умовах північно-східного Лісостепу України: *автореф. дис. канд. с.-г. наук. спец.: 06.01.09 – рослинництво*. Дніпропетровськ, 2003. 22 с.

Ільків Л.А. Економічні аспекти виробництва соняшнику. *Молодий вчений*. Жовтень, 2019 р. № 10 (74). С. 661–665. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-10-74-139>.

Коковіхін С.В., Нестерчук В.В., Носенко Ю.М. Продуктивність та якість насіння гібридів соняшнику залежно від густоти стояння рослин та удобрення. *Таврійський науковий вісник*. 2015. № 94. С. 37–42.

Мазур С.О., Матусевич Г. Д. Вплив ґрунтових гербіцидів на біометричні показники та врожайність соняшнику. *Збалансоване природокористування*. 2023. № 1. С. 90–96. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2023.278544>.

Мельничук Ф.С., Марченко О.А., Васильєв А.А. Вплив зрошення на фітопатогенний комплекс на соняшнику в умовах Лісостепу України. *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 116. С. 32–41.

Методичні рекомендації з обліку чисельності шкідників і розповсюдженості хвороб в посівах соняшнику : навч. посіб / Боровська І.Ю., Петренков В.П., Маркова Т.Ю., Черняєва І.М. Харків. 2013. 68 с.

Орлов О. Гербіцидний опік соняшнику. *Агроном*. 2024 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.agronom.com.ua/gerbitsydney-opik-sonyashnyku/> (дата звернення 15.05.2024).

Поспелов С.В., Поспелова Г.Д., Нечипоренко Н.І., Міщенко О.В., Черняк О.О., Скляр С.С., Іванічко О.В. Аналіз фітопатогенного стану посівів соняшнику в період вегетації за різних агрокліматичних умов. *Вісник ПДАА*. 2021. № 4. С. 133–141.

Ретьман С.В., Кислих Т.М., Михайленко С.В., Шевчук О.В., Базикіна Н.Г. Хвороби соняшнику. *The Ukrainian Farmer*. 2018. № 3. С. 32–36.

Соловйов О. На що хворів соняшник минулого сезону та які хвороби будуть актуальними в цьому році. 2020. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.syngenta.ua/en/news/sonyashnik/pa-shcho-hvoriv-sonyashnik-minulogo-sezonu-ta-yaki-hvorobi-budut-aktualnimi-v-comu> (дата звернення 15.05.2024).

Тимошук Т.М., Котельницька Г.М., Курцова С.В., Рибак Н.Р. Урожайність насіння соняшнику залежно від застосування фунгіцидів. “Захист і карантин рослин у ХХІ столітті: проблеми і перспективи”. Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., присвяч. ювілейним датам від дня народження видатних вчених-фітопатологів докторів біологічних наук, професорів В.К. Пантелєєва та М.М. Родігіна. (м. Харків, 20–21 жовтня 2022 р.). Харків, 2022. С. 205–208.

Ткачук О.П., Бондарук Н.В. Фактори інтенсифікації та екологізації вирощування соняшнику. *Аграрні інновації*. 2023. № 18. С. 120–127. <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2023.18.17>.

Трибел С.О., Сігарьова Д.Д., Секун М.П. та ін. Методики випробування і застосування пестицидів / За ред. С.О. Трибеля. К. : Світ, 2001. 448 с.

Троценко В.І. Соняшник: селекція, насінництво, технологія вирощування: монографія. Суми: Університетська книга, 2001. 184 с.

Фокін А.В. Система захисту соняшнику від шкідників. *Пропозиція*. 2010, № 3. С. 82–88.

Gulya, T., Harveson, R., Mathew, F., Block, C., Thompson, S., Kandel, H., Berglund, D., Sandbakken, J., Kleingartner, L., & Markell, S. Comprehensive disease survey of U.S. sunflower: disease trends, research priorities and unanticipated impacts. *Plant Disease*, 2019. 103 (4), 601–618. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-18-0980-FE>.

Kantar M.B., Sosa C.C., Khoury C.K. et al. Ecogeography and utility to plant breeding of the crop wild relatives of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Front. Plant Sci*. 2015. 6. P. 841. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00841>.

Markell S.G., Harveson R.M., Block C.C., Thomas J., Gulya T. J. Sunflower Diseases. In E. Martínez-Force, N.T. Dunford, J.J. Salas (Eds). *Sunflower. Chemistry, Production, Processing, and Utilization*. 2015. P. 93–128. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-00069-7>.

Pfenning M., Palfay G., Guillet T. The CLEARFIELD® technology – A new broadspectrum post-emergence weed control system for European sunflower growers. *Journal of Plant Diseases and Protection – New Series*. 2008. 21. P. 649–654.

## References

Andriienko, O.O. (2017). Infektsiini khvoroby yak faktor vyliahannia soniashnyku [Infectious diseases as a factor of sunflower lodging]. *Zbirnyk naukovykh prats kafedry zahalnoho zemlerobstva Tsentralnoukrainskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu [Collection of scientific papers of the Department of General Agriculture of the Central Ukrainian National Technical University]*. Kropyvnytskyi, 15–19 [in Ukrainian].

Bondarenko, M.P. (2003). Vplyv ahrotekhnichnykh pryimov na urozhainist i yakist nasinnia soniashnyku v umovakh pivnichno-skhidnoho Lisostepu Ukrainy [Influence of agrotechnical practices on the yield and quality of sunflower seeds in the north-eastern forest-steppe of Ukraine]. 06.01.09 – roslynnytstvo. *Avtoreferat dysertatsii na zdobuttia naukovoho stupenia kandydata silskohospodarskykh nauk [Thesis abstract for the degree of Candidate of Agricultural Sciences]*. Dnipropetrovsk [in Ukrainian].

Ilkiv, L.A. (2019). Ekonomichni aspekty vyrobnytstva soniashnyku [Economic aspects of sunflower production]. *Molodyy vchenyy [Young scientist]*, 10 (74), 661–665 [in Ukrainian].

Kokovikhin, S.V., Nesterchuk, V.V., & Nosenko, Yu.M. (2015). Produktivnist ta yakist nasinnia hibrydiv soniashnyku zalezno vid hustoty stoiannia roslyn ta udobrennia [Productivity and seed quality of sunflower hybrids depending on plant density and fertilisation]. *Tavriiskyyi naukovyi visnyk [Taurian Scientific Herald]*, 94, 37–42 [in Ukrainian].

Mazur, S.O., & Matusyevych, H.D. (2023). Vplyv gruntovykh herbicydiv na biometrychni pokaznyky ta vrozhaunist soniashnyku [Effect of soil herbicides on biometric parameters and sunflower yield]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia [Balanced nature using]*, 1, 90–96. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2023.278544> [in Ukrainian].

Melnychuk, F.S., Marchenko, O.A., & Vasylyev, A.A. (2020). Vplyv zroshennia na fitopatohennyi kompleks na soniashnyku v umovakh Lisostepu Ukrainy [The influence of irrigation on the phyto-

pathogenic complex on sunflower in the conditions of the forest-steppe of Ukraine]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Taurian Scientific Herald]*, 116, 32–41 [in Ukrainian].

Borovska, I.Yu., Petrenkova, V.P., Markova, T.Yu., & Cherniaieva, I.M. (2013). Metodychni rekomendatsii z obliku chyselnosti shkidnykiv i rozpozviudzhenosti khvorob v posivakh soniashnyku: navch. posib. [Methodological recommendations for accounting for the number of pests and the spread of diseases in sunflower crops]. Kharkiv, 68 [in Ukrainian].

Orlov, O. (2024). Herbitydnyi opik soniashnyku [Herbicide burn of sunflower]. *Ahronom [Agronomist]*. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.agronom.com.ua/gerbitsydney-opik-sonyashnyku/> (access date 15.05.2024) [in Ukrainian].

Pospelov, S.V., Pospelova, G.D., Nechiporenko, N.I., Mishchenko, O.V., Cherniak, O.O., Skliar, S.S., & Ivanichko, O.V. (2021). Analiz fitopatohennoho stanu posiviv soniashnyku v period vehetatsii za riznykh ahroklimatychnykh umov. [Analysis of sunflower areas' phyto-pathogenic condition during vegetation period under different agroclimatic conditions]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii [Bulletin of Poltava State Agrarian Academy]*, 4, 133–141. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.04.17> [in Ukrainian].

Retman, S.V., Kyslykh, T.M., Mykhailenko, S.V., Shevchuk, O.V., & Bazykina, N.H. (2018). Khvoroby soniashnyku [Sunflower diseases]. *The Ukrainian Farmer*, 3, 32–36 [in Ukrainian].

Soloviov, O. (2020) Na shcho khvoriv soniashnyk mynuloho sezonu ta yaki khvoroby budut aktualnymy v tsumu rotsi [What did sunflower suffer from last season and what diseases will be relevant this year]. [Electronic resource] URL: <https://www.syngenta.ua/en/news/sonyashnik/na-shcho-hvoriv-sonyashnik-minulogo-sezonu-ta-yaki-hvorobi-budut-aktualnimi-v-comu> (access date 15.05.2024) [in Ukrainian].

Tymoshchuk, T.M., Kotelnytska, H.M., Kurtsova, S.V., & Rybak, N.R. (2022). Urozhainist nasinnia soniashnyku zalezho vid zastosuvannia funhitydiv [Sunflower seed yield depending on the use of fungicides]. *Zakhyst i karantyn roslin u KhKhI stolitti: problemy i perspektyvy [Plant protection and quarantine in the XXI century: problems and prospects]*. Materialy Mizhnar. nauk.-prakt. konf., prysviach. yuvileinym datam vid dnia narodzhennia vydatnykh vchenykh-fitopatolohiv doktoriv biolohichnykh nauk, profesoriv V.K. Pantielieieva ta M.M. Rodihina. (m. Kharkiv, 20–21 zhovtnia 2022), Kharkiv, 205–208 [in Ukrainian].

Tkachuk, O.P., & Bondaruk, N.V. (2023). Faktory intensyfikatsii ta ekolohizatsii vyroshchuvannia soniashnyku [Factors of intensification and greening of sunflower cultivation]. *Ahrarni innovatsii [Agrarian innovations]*, 18, 120–127. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.18.17> [in Ukrainian].

Trybel, S.O., Siharova, D.D., & Sekun, M.P., et al. (2001). Metodyky vyprobuvannia i zastosuvannia pestytsydiv [Test methods and application of pesticides]. Kyiv, 448 p. [in Ukrainian].

Fokin, A.V. (2010). Systema zahystu sonjashnyku vid shkidnykiv [Sunflower protection system from pests]. *Propozycja [Propozitsiya]*, 3, 82–88 [in Ukrainian].

Gulya, T., Harveson, R., Mathew, F., Block, C., Thompson, S., Kandel, H., Berglund, D., Sandbakken, J., Kleingartner, L., & Markell, S. (2019). Comprehensive disease survey of U.S. sunflower: disease trends, research priorities and unanticipated impacts. *Plant Disease*, 103 (4), 601–618 <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-18-0980-FE> [in English].

Kantar, M.B., Sosa, C.C., & Khoury, C.K., et al. (2015). Ecogeography and utility to plant breeding of the crop wild relatives of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Front. Plant Sci.*, 6, 841. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00841> [in English].

Markell, S.G., Harveson, R.M., Block, C.C., Thomas J., & Gulya, T.J. (2015). Sunflower Diseases. In E. Martinez-Force, N.T. Dunford, J. J. Salas (Eds). *Sunflower. Chemistry, Production, Processing, and Utilization*, 93–128 <https://doi.org/10.1016/C2015-0-00069-7> [in English].

Pfenning, M., Palfay, G., & Guillet, T. (2008). The CLEARFIELD® technology – A new broadspectrum post-emergence weed control system for European sunflower growers. *Journal of Plant Diseases and Protection – New Series*, 21, 649–654 [in English].

Отримано: 10.07.2024  
Прийнято: 02.08.2024



УДК 635.15:631.5  
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.28>

## ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ПРОДУКТИВНОСТІ КОРЕНЕВОЇ СИСТЕМИ РЕДЬКИ ОЛІЙНОЇ ДЛЯ ОЦІНКИ ПОТЕНЦІАЛУ ЇЇ СИДЕРАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ

Я. Г. Цицюра<sup>1</sup>

Відмічено, що сучасні системи удобрення орієнтовані на зростання частки використання біоорганічних ресурсів у формі сидеральної біомаси та інших альтернативних джерел біоорганіки. Це забезпечує гармонізацію агротехнологій вирощування основних культур з позиції екологізації системи удобрення та забезпечення наближених до природніх процесів ґрунтозбереження та ґрунтореабілітації. За десятирічний період (2014–2023 рр.) проведено оцінку біопродуктивності редьки олійної за базовим критерієм коефіцієнту продуктивності кореневої системи із супутнім аналізом динаміка формування надземної фітомаси та кореневої біомаси з метою визначення потенціалу даного виду для використання у сидеральних варіантах технологій на ґрунтах невисокого потенціалу ґрунтових умов родючості (сірі лісові ґрунти). Оцінка динаміки наростання надземної листостеблової та кореневої біомаси редьки олійної як потенційного кандидата для системи сидеральних технологій засвідчила його значення на рівні 2,97–3,63 для весняного та 1,83–2,51 для літнього строку сівби за величини частки коренів у загальній біомасі на рівні 30–58%. Доведено адаптивність редьки олійної із можливістю формування диспаратного співвідношення надземної біомаси за фізіологічно мінімальної величини сформованої маси коренів, що дозволяє рекомендувати редьку олійну як сидерат у варіантах літнього проміжного використання за зростання коефіцієнту аридності та зниження коефіцієнту зволоження відповідних сільськогосподарських регіонів. Визначено кореляційно-регресійну залежність у спряженому формуванні кореневої системи і надземної частини рослин із рівнем прямої залежності при детермінації зв'язку на рівні 70,4% для виходу сухої речовини та 83,7% для виходу у загальній сирій масі.

**Ключові слова:** біопродуктивність, надземна фітомаса, коренева біомаса, коефіцієнтів співвідношення, сидерація.

<sup>1</sup> кандидат сільськогосподарських наук, доцент  
кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії  
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)  
e-mail: yaroslavtsyura@ukr.net  
ORCID: 0000-0002-9167-833X

## PECULIARITIES OF FORMATION OF PRODUCTIVITY COEFFICIENT OF OILSEED RADISH ROOT SYSTEM FOR ASSESSMENT OF ITS GREEN MANURE USE POTENTIAL

Y. G. Tsytsiura

*It is noted that modern fertilisation systems are focused on increasing the share of bioorganic resources in the form of green manure and other alternative sources of bioorganics. This ensures the harmonisation of agrotechnologies for growing major crops from the point of view of greening the fertilisation system and ensuring close to natural processes of soil conservation and soil rehabilitation. Over a ten-year period (2014–2023), the bioproductivity of oilseed radish was assessed by the basic criterion of the root system productivity coefficient with the accompanying analysis of the dynamics of aboveground phytomass and root biomass formation in order to determine the potential of this species for use in green manure technologies on soils with low potential of soil fertility conditions (grey forest soils). Assessment of the dynamics of growth of oil radish aboveground leaf and root biomass as a potential candidate for green manure technologies showed its value at the level of 2,97–3,63 for spring and 1,83–2,51 for summer sowing at the value of the share of roots in the total biomass at the level of 30–58%. The adaptability of oilseed radish with the possibility of forming a disparity ratio of aboveground biomass at the physiologically minimum value of the formed root mass was proved, which allows to recommend oilseed radish as a green manure in variants of summer intermediate use with an increase in the aridity coefficient and a decrease in the moisture coefficient of the corresponding agricultural regions. The correlation-regression dependence in the conjugate formation of the root system and the aboveground part of plants was determined with a level of direct dependence at the determination of the relationship at the level of 70,4% for the yield of dry matter and 83,7% for the yield in total crude weight.*

**Key words:** bioproductivity, aboveground phytomass, root biomass, correlation coefficients, green manure.

### Вступ

Сучасна світова практика агротехнологій вже тривалий час переосмислює основні підходи до регулятивних складових їх виробничої імплементації. Особливе місце займають зміни у системах удобрення зумовлені рядом причин, а саме: дефіцитом класичних органічних добрив; тенденцією до зростання цін на добрива; зниження ефективності їх використання зумовлене загальними дегредаційними процесами ґрунтового покриву, різким погіршенням екологічного стану агроєкосистем (Глушченко та ін., 2016). Всі ці фактори у результаті підсумку створюють умови для відмови від класичних схем удобрення та поступове і стає повернення до органо-мінеральних та біоорганічних систем різного характеру та складності. Людство все більше схиляється до системи удобрення із високим індексом екологізації (Гончарук та ін., 2020).

Серед заходів, які забезпечують досягнення оптимізованих варіантів екологізації удобрення виділяється сидерація як один із способів удобрення, який повністю імітує природно-системні методи агроєкологічного біоциклу органічної речовини від її синтезу у вигляді рослинної біомаси до поступового розкладу та утилізації за різноманітними біологічними схемами колообігу (Цицюра та

ін., 2022). Свідченням ефективності сидерації є її домінування у складі так званих органічних технологій вирощування на більшості континентів світу. Для сидерації використовується у агротехнологічній світовій практиці понад 250 видів рослин різного еколого-біологічного характеру та адаптивного потенціалу. Україна також має власний асортимент таких видів відпрацьованих у різних ґрунтово-кліматичних зонах за останніх 50 років (Шувар, 2015; Цицюра та ін., 2022; Green ..., 2023).

Особливості сидерації в українських технологічних та ґрунтово-екологічних реаліях описано у цілому ряді монографічних досліджень (Шувар, 2015; Писаренко та ін., 2016; Іванишин та ін., 2016; Дегодюк та ін., 2020; Цицюра та ін., 2022). Проте не дивлячись на таку вивченість, багато питань ефективності та доцільності сидерації як особливої парадигми землеробства залишаються невирішеними.

Одним із таких питань є двохстороння оцінка сформованої фітомаси сидерату як надземної, так і кореневої, оскільки більшість оцінок сидератів стосуються лише саме надземної фітомаси, яка розглядається як основне джерело зелених органічних добрив. При цьому коренева фітомаса оцінюється лише з позиції прогнозованої від-



носною кількістю за відомими коефіцієнтами співвідношення, які можливо втратили свою актуальність з позиції як зміни екологічного становища територій, так і з позиції глобальних кліматичних змін. По своїй суті ми не володіємо достатньою інформацією про співвідношення між обома формами сформованої фітомаси, а це значно звужує наше уявлення про потенціал культури певного виду як сидерату у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах та не дозволяє адекватно оцінити потенціал надходжень органіки у ґрунт.

Виходячи із цієї позиції, дослідження питання спряженої біопродуктивності надземної та підземної частин рослин сидератів у їх співвідношенні та морфопродуктивному аналізі є питанням, що потребує додаткового наукового узагальнення та аналізу, для гарантування розробки високоефективних сидеральних систем землеробства, направлених, у першу чергу, на ґрунтозбереження та ґрунтореабілітацію.

Програмою досліджень було передбачено проаналізувати у багаторічному вимірі коефіцієнт продуктивності кореневої системи однієї із перспективних видів, з позиції багатокритерійного використання у системі сидераційних технологій – редьки олійної (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.).

### Матеріал і методи

Дослідження проводились впродовж 2014–2023 рр. на дослідному полі Вінницького національного аграрного університету (N 49°11'31", E 28°22'16") на сірих лісових ґрунтах. Агрохімічний потенціал поля мав такі середньобогаторічні показники: вміст гумусу 2,68% легкогідролізованого азоту 81,5 мг/кг ґрунту, рухомого фосфору 176,1 мг/кг ґрунту, обмінного калію 110,8 мг/кг ґрунту, рН<sub>KCl</sub> 5.8. У якості дослідного об'єкта було використано поширений у регіоні досліджень сорт редьки олійної Журавка. Це високоврожайний сорт комбінованого використання (листочестоблова маса та насіння). Укісна стиглість настає через 45–50 діб після сівби. Післяукісні посіви формують понад 300 ц/га високобілкової маси. У 100 кг листочестоблової маси міститься 12–16 к. о., 12–14% сухої речовини, 26–29% сирого протеїну. Зелена маса добре поїдається тваринами, широко використовується як сидерат. Сорт стійкий до посухи, середньостійкий до вилягання. Ураження хворобами середня (бактеріозом – 11,5%; переноспорозом – 3,5%).

Рекомендований для зон Степу і Лісостепу як олійний та кормовий. Занесений до реєстру сортів рослин України з 2000 року (Цицюра та ін., 2022).

Досліди закладались на неудобреному фоні при кількісній нормі висіву 2,5 млн. насінин/га (30–35 насінин на 1 погонний метр рядка) звичайним рядковим способом (міжряддя 15 см). Застосована норма висіву та ширина міжрядь відповідала варіанту кормово-сидерального використання редьки олійної за результатами комплексної оцінки віталітетної структури агроценозу (Tsytisura, 2020). За єдиних параметрів передпосівного конструювання агроценозу, вивчалися дві системи використання редьки олійної прийнятих у зоні досліджень у варіанті зайнятого пару (ранньовесняна сівба) та проміжний (літня сівба):

I. Система ранньовесняної сівби після проміжного обробітку у форматі культивування на глибину 8–10 см із вирівнюванням (перша–друга декада квітня) на фоні зяблевої оранки на 20–22 см при даті фенологічного досягнення оптимальної фази багатоконпонентного використання біомаси редьки олійної – фаза цвітіння (ВВСН 64–67) – на другу–третю декаду червня.

II. Система проміжного (літнього) використання за сівби відразу після збирання попередника з проміжним комбінованим обробітком ґрунту (плоскоріз + ротаційне розпушування із вирівнюванням) на глибину 12–14 см у другій–третьій декаді липня при даті фенологічного досягнення оптимальної фази багатоконпонентного використання біомаси редьки олійної – фаза цвітіння (ВВСН 64–67) – на другу–третю декаду жовтня.

Дослідні ділянки було сформовано у чотирьохразовій повторності методом дрібноділянкової рендомізації (загальна площа ділянки 35 м<sup>2</sup> облікова площа 25 м<sup>2</sup>). Феностадійний розвиток рослин редьки олійної реєстрували за шкалою ВВСН (Test Guidelines, 2017).

Облік надземної листочестоблової біомаси (ЛМ) рослин проводили на фазу повного цвітіння (ВВСН 64–67) у 4 рендомізованих ділянках методом пробних майданчиків площею 1 м<sup>2</sup> у кожному повторенні (16 ділянок у підсумку) з наступним зважуванням. Перед зважуванням та наступними польовими і лабораторними маніпуляціями із пробних снопів видалялись будь-які іншovidові домішки рослин. Фаза цвітіння була вибрана для обох варіантів сидерації як

така, яка є досяжною для обох варіантів та відповідає рекомендаціям щодо біофумігантного та сидерального використання редьки олійної в умовах нестійкого зволоження у різних ґрунтових зонах (Duff et al., 2020). Частина облікових ділянок вибиралась з умовою співпадання периметру обліку надземної біомаси із системою монолітного аналізу сформованих кореневих систем. Коефіцієнт продуктивності кореневої системи (КПКС) розраховували відповідно до Poorter et al. (2012) як відношення сирової (сухої) надземної біомаси рослин до маси сформованих коренів, а частку кореневих решток у загальній біомасі рослин визначали як відношення маси коренів до надземної маси рослини виражене у %.

Оцінка формування біомаси кореневої системи рослин редьки олійної проводили на аналогічну фенофазу, що й для оцінки формування надземної біомаси рослин методом монолітів (відповідно до методики Wahlström et al., 2015).

Вміст сухої речовини (СР) визначали шляхом висушування в сушильній шафі за температури 105 °С, а потім озолення висушеного зразка за температури 550 °С.

Аналіз погодних умов та рівня їх мінливості за період 2014–2023 рр. проводився на основі гідротермічного коефіцієнту (ГТК) (рівняння 1), індексу посушливості ( $I_{\text{п}}$ ) (рівняння 2), коефіцієнту зволоження ( $K_3$ ) (рівняння 3)

$$\text{ГТК} = \frac{\sum R}{0.1 \times \sum t_{>10}} \quad (1)$$

де:  $\sum R$  – сума опадів (мм) за період з температурою вище 10 °С,  $\sum t_{>10}$  – сума ефективних температур за той самий період

$$I_{\text{п}} = \frac{12P_{\text{оп}}}{T_{\text{сеп.}} + 10}, \quad (2)$$

де  $P_{\text{оп}}$  та  $T_{\text{сеп.}}$  – кількість опадів та середня температура повітря у відповідному місяці, відповідно.

$$K_3 = \frac{P}{E} \quad (3)$$

де:  $K_3$  – коефіцієнт зволоження;  $P$  – сума опадів за аналізований період, мм;  $E$  – випаровуваність за аналізований період.

Дані показників гідротермічного режиму вегетації представлено у таблиці 1.

Отримані дослідні дані піддавались загальноприйнятим статистичним та регресійно-кореляційним методам аналізу (Wong et al., 2018).

### Результати

Як за весняного (табл. 2), так і за літнього строку сівби редька олійна показала

чутливу широку норму реакції на зміну гідротермічних умов зволоження. Цей вплив реалізовувався через істотну відмінність та варіативність біомаси як надземної, так і підземної частини рослин та відповідних супутніх співвідношень, Вищий рівень продуктивності надземної біомаси у середньому за період вивчення було визначено за весняного строку сівби 24,04 т/га за рівня міжрічного варіювання 30,55%.

Вихід біомаси коренів для цього ж строку були 8,70 т/га та 44,70%, За літнього строку сівби показники було відмічено на такому послідовному рівні 18,34 т/га (32,80%) та 5,50 т/га (38,95%). У підсумку загальна біопродуктивність редьки олійної (сума надземної та кореневої біомаси) за весняного строку сівби склала у сирій масі 32,74 т/га (34,06% міжрічної мінливості) та у сухій речовині 4,92 т/га (29,47%). Дані показники на 8.90 та 0.86 т/га нижчі у середньому для варіанту літнього строку сівби.

За отриманих показників біопродуктивності редьки олійної коефіцієнт продуктивності кореневої системи у виразі отриманої сирової біомаси у середньому за повний період вивчення склав 2,97 (20,33%) за весняного та 3,63 (33,69%) за літнього строку сівби. У еквіваленті сухої речовини ці показники становили 1,83 (22,82%) та 2,51 (33,53%).

При цьому зворотне співвідношення кореневої маси до надземної для весняного строку сівби було 0,35 у виразі сирової маси та 0,57 у виразі сухої речовини за рівня міжрічного варіювання 18,67–21,24%, Для літнього строку сівби дані показники були на рівні 0,30 і 0,43 та 22,98–23,63% відповідно. При цьому інертність росту надземної частини при зупиненні росту підземної також доведена. Це підтверджено зниженням рівня міжрічної варіації показника співвідношення біомаси коренів до біомаси надземної частини з коефіцієнтом 1,88 для весняного строку сівби та 1,54 для літнього строку сівби.

Вказана інертність, яка визначає збереження інтенсивності ростових процесів, за рахунок більш вираженої стресостійкості кореневої системи, дозволяє рослинам редьки олійної пристосовуватись до можливих середньотривалих періодів аридизації та забезпечувати формування надземної біомаси рослин на рівні 50% від середньобаторічного показника в роки із низьким значенням індексу посушливості ( $I_{\text{п}}$ ) та коефіцієнта зволоження ( $K_3$ ). До прикладу це характерно для умов 2015 року (див. табл. 1)

Таблиця 1

Показники гідротермічного забезпечення періоду вегетації редьки олійної сорту Журавка різних строків сівби, 2014–2023 рр.

Рік	Сума опадів, мм (IV-VI)	$t_{\text{сеп.}}^{\circ\text{C}}$ (IV-VI)	Місяці періоду вегетації											
			IV			V			VI					
			ГТК	$I_{\text{п}}$	$K_3$	ГТК	$I_{\text{п}}$	$K_3$	ГТК	$I_{\text{п}}$	$K_3$			
Весняний строк сівби														
2014	339,6	13,84	0,72	45,7	1,18	3,93	88,9	2,11	1,55	34,8	0,83			
2015	142,3	14,36	0,64	37,3	0,78	0,92	20,6	0,41	0,72	16,9	0,27			
2016	193,4	15,06	0,30	21,6	0,44	0,49	40,4	0,99	1,27	29,9	0,75			
2017	125,1	14,07	3,92	39,2	0,75	0,78	16,8	0,34	0,50	11,9	0,22			
2018	170,8	16,38	0,29	10,8	0,19	0,31	7,2	0,12	4,40	103,7	2,31			
2019	398,5	15,39	0,57	33,5	0,72	4,9	111,0	3,29	1,68	41,4	0,96			
2020	343,8	13,67	0,09	36,4	0,50	5,33	106,4	3,18	1,55	37,3	0,89			
2021	282,8	13,26	0,23	38,8	0,96	3,13	66,7	1,64	1,68	39,8	1,00			
2022	242,1	14,30	0,56	57,4	2,33	1,43	31,3	0,79	1,50	36,1	0,85			
2023	239,8	14,18	1,54	91,5	3,33	0,08	1,9	0,04	1,64	38,9	0,87			
Рік	Сума опадів, мм (VII-X)	$t_{\text{сеп.}}^{\circ\text{C}}$ (VII-X)	Місяці періоду вегетації											
			VII			VIII			IX			X		
			ГТК	$I_{\text{п}}$	$K_3$	ГТК	$I_{\text{п}}$	$K_3$	ГТК	$I_{\text{п}}$	$K_3$	ГТК	$I_{\text{п}}$	$K_3$
Літній строк сівби														
2014	250,8	15,4	1,31	32,7	0,77	1,05	26,0	0,51	1,25	25,7	0,56	1,77	35,8	0,93
2015	160,8	16,6	0,32	8,1	0,14	0,12	3,1	0,05	1,18	26,8	0,63	3,04	49,4	1,25
2016	212,7	15,6	1,06	26,5	0,55	0,90	22,0	0,43	0,01	2,5	0,05	0,55	63,4	2,45
2017	318,0	16,0	1,52	37,5	0,72	0,82	20,7	0,38	3,10	61,2	1,57	1,07	30,0	1,26
2018	273,4	16,4	2,16	53,4	1,63	0,59	14,6	0,30	1,38	27,2	0,71	0,87	27,6	0,95
2019	161,7	16,0	1,01	24,4	0,56	0,24	5,9	0,11	0,99	20,7	0,42	0,38	27,4	0,93
2020	245,4	17,6	0,59	14,7	0,31	0,53	13,2	0,22	0,86	27,5	0,54	2,54	60,6	3,05
2021	176,9	15,4	0,78	20,1	0,45	1,46	35,7	0,91	0,71	17,6	0,51	0,00	1,7	0,04
2022	436,6	16,0	0,90	22,4	0,58	1,71	43,1	1,06	4,96	98,1	2,60	3,17	51,4	1,50
2023	247,1	18,3	1,41	35,8	0,82	0,65	16,9	0,36	1,01	23,4	0,63	1,03	29,9	0,93

для обох строків сівби редьки олійної та для умов 2017 року для весняного строку сівби. Вказані процеси зниження темпів росту рослин редьки олійної прогнозовано будуть зростати за одночасного підвищення істотності відхилення від оптимуму як умов надземних, так і підземних режимів температури та зволоження. При цьому для редьки олійної можливий варіант інтенсивного формування кореневої біомаси за мінімальних темпів формування надземної що можливе вже при рівневі співвідношення частки коренів до частки вегетуючих частин у значенні вищим за 0,25. Це наглядно підтверджує візуалізація співставної залежності між підземною та надземною біомасою у загальному масиві даних за період досліджень (рис. 1). Зокрема встановлено отримання

позитивного числового значення надземної біомаси за нульового значення біомаси коренів а також відповідність абсцисного кроку графіка у 4 одиниці, яка відповідає аналогічному ординатному кроку у 15 одиниць для показників сформованої сирової біомаси рослин (Позиція А). Для цього ж показника у сухій речовині на 2 одиниці абсциси графіка припадає 3,5 одиниць ординатного положення (Позиція В). Тобто сила зв'язку знижується у випадку переведення біомаси на суху речовину, що підтверджується істотно нижчим значенням коефіцієнту кореляції (зниження 15,9% у співставленні до сирової біомаси) та є свідченням вираженої асинхронності між вмістом сухої речовини у надземній та підземній частинах біомаси рослин. При цьому вказана різниця зростає

Таблиця 2

Показники біопродуктивності редьки олійної за різних строків сівби на фазу цвітіння (ВВСН 64-67), 2014–2023 рр.

Показники	Роки обліків										НІР <sup>0,5</sup>
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
ЛМ, т/га	*33,49	20,11	21,29	15,22	13,89	35,75	30,88	24,12	21,18	24,48	1,39
	**22,21	9,49	21,05	23,79	23,12	10,11	11,29	16,22	24,77	21,39	1,29
Вміст СР у ЛМ, %	12,23	14,12	14,19	13,75	15,11	11,27	12,73	11,81	13,28	13,09	0,64
	15,17	17,52	15,97	14,27	14,91	17,15	16,08	16,83	13,43	15,75	1,11
ЛМ у СР, т/га	4,10	2,84	3,02	2,09	2,10	4,03	3,93	2,85	2,81	3,20	0,24
	3,37	1,66	3,36	3,39	3,45	1,73	1,82	2,73	3,33	3,37	0,27
КБМ, т/га	13,28	7,88	6,22	4,47	3,39	14,85	13,02	9,57	7,44	6,87	1,15
	6,59	1,39	5,77	7,21	5,52	3,58	3,09	6,49	8,03	7,33	0,60
Вміст СР у КБМ, %	20,42	23,12	21,73	22,84	23,95	20,68	19,84	19,09	21,47	21,11	0,88
	22,17	25,18	23,12	21,08	23,29	20,15	22,68	23,32	21,91	23,52	1,08
КБМ у СР, т/га	2,71	1,82	1,35	1,02	0,81	3,07	2,58	1,83	1,60	1,45	0,26
	1,46	0,35	1,33	1,52	1,29	0,72	0,70	1,51	1,76	1,72	0,13
КПКС (сиря маса)	2,52	2,55	3,42	3,40	4,10	2,41	2,37	2,52	2,85	3,56	0,62
	3,37	6,83	3,65	3,30	4,19	2,82	3,65	2,50	3,08	2,92	0,48
КПКС (суха речовина)	1,51	1,56	2,24	2,05	2,59	1,31	1,52	1,56	1,76	2,21	0,38
	2,31	4,75	2,52	2,23	2,68	2,40	2,59	1,80	1,89	1,95	0,32
Частка КБМ (сиря маса), %	28,39	28,15	22,61	22,70	19,62	29,35	29,66	28,41	26,00	21,91	1,05
	29,67	14,65	27,41	30,31	23,88	35,41	27,37	40,01	32,42	34,27	1,67
Частка КБМ (суха речовина), %	39,83	39,08	30,91	32,79	27,89	43,25	39,65	39,07	36,22	31,16	0,56
	43,36	21,05	39,68	44,77	37,29	41,60	38,60	55,44	52,89	51,17	3,56

\* – за весняного строку сівби; \*\* – за літнього строку сівби.

за зміни строків сівби із весняних на літні (див. табл. 2). Отримані дані дають підстави стверджувати, що за оптимальних умов ґрунтового зволоження та живлення на фоні інтенсивного наростання середньодобових температур та певної тривалості відсутності опадів, редька олійна здатна зберігати високі темпи ростових процесів, що дозволяє використовувати її як проміжну культуру в умовах жарких циклів періодів між основними культурами сівозміни. Це ґрунтується як на високих значеннях прямого, так і оберненого співвідношення надземної та підземної біомаси рослин редьки олійної у досліді. Такий рівень співвідношення, особливо за зростання частки кореневої біомаси у загальній сухій біомасі рослин у середньому на 10,31–13,05% залежно від строків сівби – також засвідчив високу ймовірну позитивну реакцію рослин редьки олійної на додаткове мінеральне живлення та високу інтенсивність акумуляції основних елементів живлення у сформованій біомасі рослин.

### Обговорення

Відповідно до представлених результатів біопродуктивності як у значенні виходу надземної, так і виходу кореневої біомаси на середньому рівні вище 20 т/га загальної сформованої біомаси (з огляду на складну динамічну систему варіювання гідротермічних умов періоду досліджень із загальною оцінкою від несприятливих до оптимальних) – редьку олійну можна віднести до високопродуктивних сидеральних культур з розвинутими адаптивними механізмами формування біомаси рослин, що узгоджується із градаціями оцінки для літніх різновидових культур проміжного та сидерального використання (Quintarelli et al., 2022). Це ж підтверджується співставленням отриманих даних з іншими широкоживаними хрестоцвітими культурами за сидерального їх використання (гірчиця біла, ярий і озимий ріпак, суріпиця яра і озима, тифон, редька кормова) з рівнем біопродуктивності надземної фітомаси в інтервалі 11–40 т/га та кореневої біомаси в інтервалі 5–25 т/га за

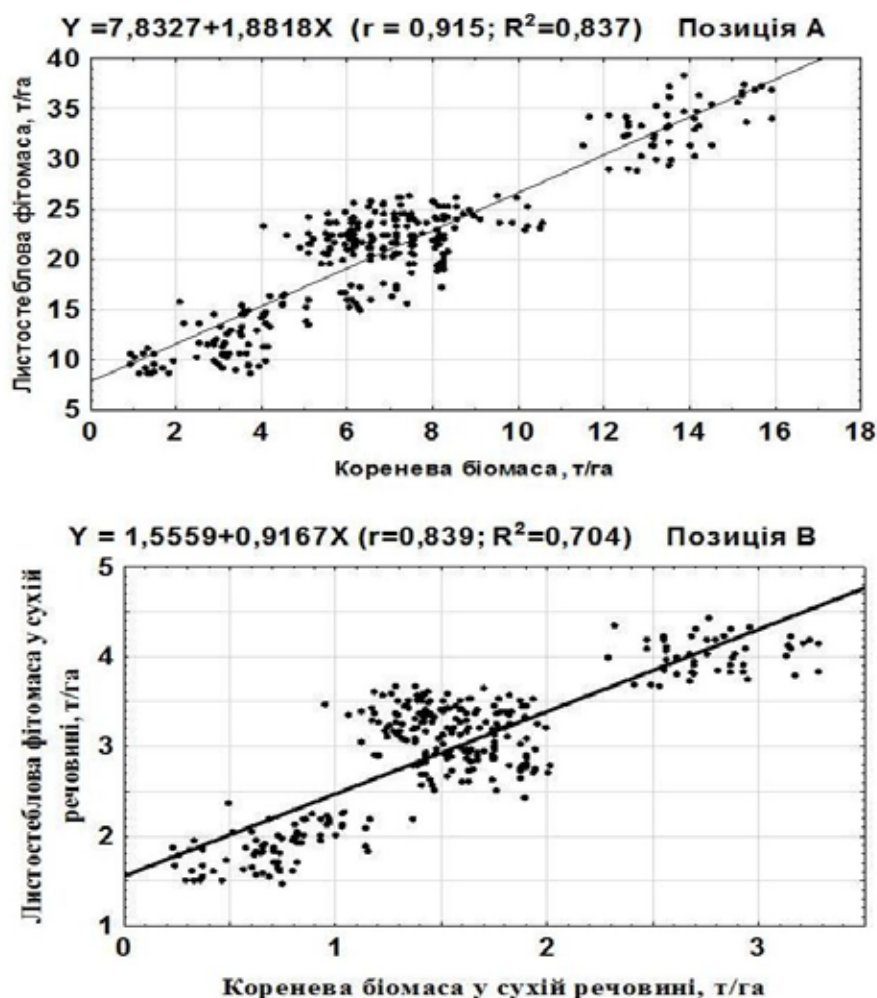


Рис. 1. Графічна інтерпретація залежності між сформованою надземною фітомасою та кореневою біомасою редьки олійної в усередненому масиві даних (роки-повторення-строки сівби), 2014–2023 рр.

різних ґрунтово-кліматичних умов (Ramirez-Garcia et al., 2015; Ugrenović et al., 2019; Safaei et al., 2022; Țiței, 2022).

Визначена частка кореневої маси у загальній фітомасі рослин на рівні 35–58% з огляду на дослідження Vlaha (2021) вказують на швидкі темпи росту рослин редьки олійної для обох частин рослин з паритетним розвитком надземної маси та наявності чутливої стрес реакції за погіршення ґрунтових умов з позиції зволоження, аерації тощо. А коефіцієнт варіації показника продуктивності кореневої системи на рівні 20,5–22,8% для сирої фітомаси рослин та 30,7–33,5% для фітомаси у сухій речовині на фоні мінливості ГТК на рівні 19,8% та коефіцієнту аридності на рівні 27,4% підтверджують можливість адаптації рослин редьки олійної до формування диспаратетно вищої надземної фітомаси за мінімально-необхідного формування величини кореневої фітомаси.

Це узгоджується із висновками Heuermann et al. (2019) на гірчиці білій у стресові роки її вегетації. Подібні дослідження Kemper et al. (2020) показали швидкі темпи укорінення редьки олійної з формуванням значної кореневої біомаси за вищих темпів цього процесу за зниження норми висіву при використанні редьки олійної як проміжної покривної чи сидеральної культури при коливанні частки кореневої біомаси у загальній фітомасі від 18 до 50%.

Слід відмітити також, що висока частка кореневої біомаси у загальній біомасі рослин редьки олійної у середньому за повний цикл досліджень (за весняного строку сівби 25.68% (міжрічне варіювання 14.19%) та 29.54% (23.63%) за літнього строку сівби) – вказує на користь високого рівня адаптації редьки олійної до умов ґрунтового живлення з позиції можливості отримання високих рівнів продуктивності на ґрунтах із невисоким агрохімічним

потенціалом. Це підтверджено дослідженнями Redin et al. (2018) та Lopez et al. (2023).

### Висновки

Динаміка змін коефіцієнту продуктивності кореневої системи редьки олійної з огляду на високу ступінь міналивості гідротермічних умов вегетації вказує на високий прогнозований агротехнологічний потенціал редьки олійної щодо її використання

у якості сидеральної культури на ґрунтах із невисоким потенціалом умов ґрунтової родючості (сірі лісові ґрунти) як за весняних, так і за проміжних (літніх) строків сівби з гарантованим мінімумом отримання загальної сидеральної фітомаси у роки із екстремально несприятливими умовами за гідротермічним режимом на рівні 10–12 т/га у сирій та 2,0–2,4 т/га у сухій речовині.

### Список використаної літератури

Глуценко М.К., Крупко Г.Д. Особливості застосування сидерації та роль зелених добрив у підвищенні родючості ґрунтів. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2016. Вип. 3 (75). С. 173–178.

Гончарук І.В., Ковальчук С.Я., Цицюра Я.Г., Лутковська С.М. Динамічні процеси розвитку органічного виробництва в Україні. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2020. 478 с.

Дегодюк С.Е., Дегодюк Е.Г., Проненко М.М., Ігнатенко Ю.О., Пипчук Н.М., Мулярчук А.О. Ефективність застосування відновлюваних місцевих ресурсів за органічного землеробства: науково-методичні рекомендації. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2020. 48 с.

Іванишин В.В., Роїк М.В., Шувар І.А., Центило А.В., Сендецький В.М., Бунчак О.М., Колісник Н.М. Біологізація землеробства в Україні: реалії та перспективи: науково-виробниче видання. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2016. 284 с.

Писаренко В.М. Антонєць А.С., Лук'яненко Г.В. Система органічного землеробства агроєколого С.С. Антонця. Полтава, 2016. 131 с.

Цицюра Я.Г., Неїлик М.М., Дідур І.М., Поліщук М.І. Сидерація як базова складова біологізації сучасних систем землеробства. Монографія. Вінниця : Видавець ТОВ «Друк», 2022. 770 с.

Шувар І.А. Сидерати в сучасному землеробстві. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2015. 156 с.

Bláha L. Importance of Root-Shoot Ratio for Crops Production: A Review. *Current Topics in Agricultural Sciences*. 2021. Vol. 1. P. 37–49. <https://doi.org/10.9734/bpi/ctas/v1/12112D>.

Duff J., van Sprang C., O'Halloran J., Hall Z. Guide to Brassica Biofumigant Cover Crops Managing soilborne diseases in vegetable production systems. Horticulture Innovation through VG16068 Optimising cover cropping for the Australian vegetable industry. State of Queensland. Department of Agriculture and Fisheries. 2020. 40 p.

Green Manure Global Market Report 2024. By Type (Leguminous, Non Leguminous), By Source (Dhaincha, Sesbania, Sunhemp, Other Sources), By Application (Grains And Cereals, Pulses And Oilseedseeds, Fruits And Vegetables, Other Applications) – Market Size, Trends, And Global Forecast 2024–2033. 2023. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/green-manure-global-market-report> (дата звернення 22.04.2022).

Heuermann D., Gentsch N., Boy J., Schweneker D., Feuerstein U., Groß J., Bauer B., Guggenberger G., von Wirén N. Interspecific competition among catch crops modifies vertical root biomass distribution and nitrate scavenging in soils. *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. № 1. e11531. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48060-0>.

Kemper R., Bublitz T.A., Müller P., Kautz T., Döring T.F., Athmann M. Vertical root distribution of different cover crops determined with the profile wall method. *Agriculture*. 2020. Vol. 10. e503. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110503>.

Lopez G., Ahmadi S.H., Amelung W., Athmann M., Ewert F., Gaiser T., Gocke M.I., Kautz T., Postma J., Rachmilevitch S., Schaaf G., Schnepf A., Stoschus A., Watt M., Yu P., Seidel S.J. Nutrient deficiency effects on root architecture and root-to-shoot ratio in arable crops. *Frontiers Plant Science*. 2023. Vol. 13. e1067498. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1067498>.

Poorter H., Niklas K.J., Reich P.B., Oleksyn J., Poot, P., Mommer L. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist*. 2012. Vol. 193. P. 30–50. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x>.

Quintarelli V., Radicetti E., Allevato E., Stazi S.R., Haider G., Abideen Z., Bibi S., Jamal A., Mancinelli R. Cover Crops for Sustainable Cropping Systems: A Review. *Agriculture*. 2022. Vol. 12. 2076. <https://doi.org/doi:10.3390/agriculture12122076>.

- Ramirez-Garcia J., Gabriel J.L., Alonso-Ayuso M., Quemada M. Quantitative characterization of five cover crop species. *The Journal of Agricultural Science*. 2015. Vol. 153. № 7. P. 1174–1185. <https://doi.org/10.1017/S0021859614000811>.
- Redin M., Recous S., Aita C., Chaves B., Pfeifer I.C., Bastos L.M., Pilecco G.E., Giacomini S.J. Root and shoot contribution to carbon and nitrogen inputs in the topsoil layer in no-tillage crop systems under subtropical conditions. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2018. Vol. 42. e0170355.
- Safaei A.R., Rouzbehan Y., Aghaalkhani M. Canola as a potential forage. *Translational Animal Science*. 2022. Vol. 6. № 3. txac100.
- Test Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability of Fodder Radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.). 2017. Geneva, 23 p.
- Ťiței V. The quality of fresh and ensiled biomass from white mustard, *Sinapis alba*, and its potential uses. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2022. Vol. 65. Issue 1. P. 559–566.
- Tsytsiura Y.H. Modular-vitality and ideotypical approach in evaluating the efficiency of construction of oilseed radish agrophytocenoses (*Raphanus sativus* var. *oleifera* Pers.). *Agraarteadus*. 2020. Vol. 31. №2. P. 219–243. <https://doi.org/10.15159/jas.20.27>.
- Ugrenović V., Filipović, V., Jevremović, S., Marjanović J.A., Popović, V., Buntić A., Delić, D. Effect of Brassicaceae as cover crops. *Selekcija i semenarstvo*. 2019. Vol. 25. № 2. P. 1–8. <https://doi.org/10.5937/SelSem1902001U>.
- Wahlström E.M., Hansen E.M., Mandel A., Garbout A., Kristensen H.L., Munkholm L.J. Root development of fodder radish and winter wheat before winter in relation to uptake of nitrogen. *European Journal of Agronomy*. 2015. Vol. 71. P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2015.07.002>.
- Wong J. Handbook of statistical analysis and data mining applications. Cambridge, Academic Press, 2018. 589 p. <http://doi.org/10.1016/C2012-0-06451-4>.

## References

- Hlushchenko, M.K., & Krupko, H.D. (2016). Osoblyvosti zastosuvannya syderatsii ta rol zelenykh dobriv u pidvyshchenni rodiuchosti gruntiv [Peculiarities of green manure application and the role of green fertilisers in increasing soil fertility]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya [Bulletin of the National University of Water and Environmental Engineering]*, 3 (75), 173–178 [in Ukrainian].
- Honcharuk, I.V., Kovalchuk, S.Ia., Tsytsiura, Ya.H., & Lutkovska, S.M. (2020). Dynamichni protsesy rozvytku orhanichnoho vyrobnytstva v Ukraini [Dynamic processes of organic production development in Ukraine]. Vynnytsia : TOV «TVORY» [in Ukrainian].
- Dehodiuk, S.E., Dehodiuk, E.H., Pronenko, M.M., Ihnatenko, Yu.O., Pypchuk, N.M., & Muliarchuk, A.O. (2020). Efektyvnist zastosuvannya vidnovliuvanykh mistsevykh resursiv za orhanichnoho zemlerobstva: naukovy-metodychni rekomendatsii [Efficiency of the use of renewable local resources in organic farming: scientific and methodological recommendations]. Vynnytsia : TOV «TVORY» [in Ukrainian].
- Ivanyshyn, V.V., Roik, M.V., Shuvar, I.A., Tsentylo, L.V., Sendetskyi, V.M., Bunchak, O.M., & Kolisnyk, N.M. (2016). Biologizatsiia zemlerobstva v Ukraini: realii ta perspektyvy: naukovy-vyrobynye vydannia [Biologisation of agriculture in Ukraine: realities and prospects: a scientific and production publication]. Ivano-Frankivsk : Symfoniia forte [in Ukrainian].
- Pysarenko, V.M., Antonets, A.S., & Lukianenko, H.V. (2016). Systema orhanichnoho zemlerobstva ahroekoloha S.S. Antontsia [Organic farming system by agroecologist S.S. Antonets]. Poltava [in Ukrainian].
- Tsytsiura, Ya.H., Neilyk, M.M., Didur, I.M., & Polishchuk, M.I. (2022). Syderatsiia yak bazova skladova biologizatsii suchasnykh system zemlerobstva. Monohrafiia [Green manure as a basic component of biologisation of modern farming systems. Monograph]. Vynnytsia : Vydavets TOV «Druk» [in Ukrainian].
- Shuvar, I.A. (2015). Syderaty v suchasnomu zemlerobstvi [Green manure in modern farming]. Ivano-Frankivsk : Symfoniia forte [in Ukrainian].
- Bláha, L. (2021). Importance of Root-Shoot Ratio for Crops Production: A Review. *Current Topics in Agricultural Sciences*, 1, 37–49. <https://doi.org/10.9734/bpi/ctas/v1/12112D> [in English].
- Duff, J., van Sprang, C., OHalloran, J., & Hall, Z. (2020). Guide to Brassica Biofumigant Cover Crops Managing soilborne diseases in vegetable production systems. Horticulture Innovation through VG16068 Optimising cover cropping for the Australian vegetable industry. State of Queensland. Department of Agriculture and Fisheries [in English].

- Green Manure Global Market Report 2024. (2023). By Type (Leguminous, Non Leguminous), By Source (Dhaincha, Sesbania, Sunhemp, Other Sources), By Application (Grains And Cereals, Pulses And Oilseedseeds, Fruits And Vegetables, Other Applications) – Market Size, Trends, And Global Forecast 2024–2033. [Electronic resource]. URL: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/green-manure-global-market-report> (access date 22.04.2022) [in English].
- Heuermann, D., Gentsch, N., Boy, J., Schweneker, D., Feuerstein, U., Groß, J., Bauer, B., Guggenberger, G., & von Wirén, N. (2019). Interspecific competition among catch crops modifies vertical root biomass distribution and nitrate scavenging in soils. *Scientific Reports*, 9 (1), e11531. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48060-0> [in English].
- Kemper, R., Bublitz, T.A., Müller, P., Kautz, T., Döring, T.F., & Athmann, M. (2020). Vertical root distribution of different cover crops determined with the profile wall method. *Agriculture*, 10, e503. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110503> [in English].
- Lopez, G., Ahmadi, S.H., Amelung, W., Athmann, M., Ewert, F., Gaiser, T., Gocke, M.I., Kautz, T., Postma, J., Rachmilevitch, S., Schaaf, G., Schnepf, A., Stoschus, A., Watt, M., Yu, P., & Seidel, S.J. (2023). Nutrient deficiency effects on root architecture and root-to-shoot ratio in arable crops. *Frontiers Plant Science*, 13, e1067498. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1067498> [in English].
- Poorter, H., Niklas, K.J., Reich, P.B., Oleksyn, J., Poot, P., & Mommer, L. (2012). Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist*, 193, 30–50. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x> [in English].
- Quintarelli, V., Radicetti, E., Allevato, E., Stazi, S.R., Haider, G., Abideen, Z., Bibi, S., Jamal, A., & Mancinelli, R. (2022). Cover Crops for Sustainable Cropping Systems: A Review. *Agriculture*, 12, 2076. <https://doi.org/doi:10.3390/agriculture12122076> [in English].
- Ramirez-Garcia, J., Gabriel, J.L., Alonso-Ayuso, M., & Quemada, M. (2015). Quantitative characterization of five cover crop species. *The Journal of Agricultural Science*, 153 (7), 1174–1185. <https://doi.org/10.1017/S0021859614000811> [in English].
- Redin, M., Recous, S., Aita, C., Chaves, B., Pfeifer, I.C., Bastos, L.M., Pilecco, G.E., & Giacomini, S.J. (2018). Root and shoot contribution to carbon and nitrogen inputs in the topsoil layer in no-tillage crop systems under subtropical conditions. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42, e0170355 [in English].
- Safaei, A.R., Rouzbehan, Y., & Aghaalikhani, M. (2022). Canola as a potential forage. *Translational Animal Science*, 6(3), txac100. <https://doi.org/10.1093/tas/txac100> [in English].
- Test Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability of Fodder Radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.). (2017). Geneva.
- Țiței, V. (2022). The quality of fresh and ensiled biomass from white mustard, *Sinapis alba*, and its potential uses. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 65 (1), 559–566 [in English].
- Tsytsiura, Y.H. (2020). Modular-vitality and ideotypical approach in evaluating the efficiency of construction of oilseed radish agrophytocenoses (*Raphanus sativus* var. *oleifera* Pers.). *Agraarteadus*, 31 (2), 219–243. <https://doi.org/10.15159/jas.20.27> [in English].
- Ugrenović, V., Filipović, V., Jevremović, S., Marjanović, J.A., Popović, V., Buntić, A., & Delić, D. (2019). Effect of Brassicaceae as cover crops. *Selekcija i semenarstvo*, 25(2), 1–8. <https://doi.org/10.5937/SelSem1902001U> [in English].
- Wahlström, E.M., Hansen, E.M., Mandel, A., Garbout, A., Kristensen, H.L., & Munkholm, L.J. (2015). Root development of fodder radish and winter wheat before winter in relation to uptake of nitrogen. *European Journal of Agronomy*, 71, 1–9. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2015.07.002> [in English].
- Wong, J. (2018). Handbook of statistical analysis and data mining applications. Cambridge, Academic Press. <http://doi.org/10.1016/C2012-0-06451-4> [in English].

Отримано: 17.07.2024  
Прийнято: 07.08.2024





УДК 632.15.068;631.811.98  
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.29>

## АКТИВНІСТЬ КЛЮЧОВИХ ЕНЗИМІВ АЗОТНОГО МЕТАБОЛІЗМУ ТА ВМІСТ ПОЛІФЕНОЛІВ *TRITICOSECALE L.* ЗА ДІЇ РІДКИХ КОМПЛЕКСНИХ ПРЕПАРАТІВ

О. Ф. Чечуй<sup>1</sup>, В. Ю. Крикунова<sup>2</sup>

Одним із важливих метаболічних шляхів функціонування рослинного організму є азотний метаболізм, у зв'язку з чим завданням даної роботи є з'ясування біологічної дії його проміжних сполук, а саме – органічних кислот та амінів (як у монодії, так й у складі рідких комплексних добрив) на активність ключових ензимів азотного метаболізму, вміст фенольних сполук,

ТБК-реактивних сполук, хлорофілу та аміачного азоту в листках *Triticosecale L.* на стадії початку куціння. В експериментах використано методи центрифугування, титрування, спектрофотометрії та фотоколориметрії. Виявлено, що дія препарату Аватар<sub>м</sub>-2-с підвищує активність AsAT та AlAT відповідно у 3,88 та 4,12 разів, а GDH лише на 19 %. Дія досліджених в роботі органічної кислоти та аміну на активність вищенаведених ключових ензимів азотного метаболізму свідчить про специфіку відповідних хімічних реакцій. Так, за дії сукцинату натрію збільшувалась активність AsAT (у 4,2 рази) та AlAT (у 2,8 разів), а показник активності GDH не змінювався відносно контрольних значень. Дія препарату Аміномікс у поєднанні з метиламіном призвела до збільшення активності трансаміназ відповідно у 3,9 та 4,2 рази, однак активність дегідрогенази за дії цього препарату знижувалась у 1,7 рази відносно контролю. Водночас, метиламін викликав збільшення активності AsAT та AlAT на 48,3% та 37,5% відповідно. З'ясовано, що дія препарату Аміномікс у поєднанні з метиламіном обумовлює зниження активності GDH у середньому на 34,6%. Щодо оцінки рівня ТБК-активних продуктів за дії препаратів Аватар<sub>м</sub>-2-с та «авакам<sub>м</sub>-1-с-експ», то з'ясовано більш істотне підвищення показників за дії другого препарату (в середньому у 3,8 рази), порівняно із першим, дія якого викликала збільшення вмісту ТБК-активних продуктів у 1,9 рази.

Проте, вміст фенольних сполук не корелював із збільшенням вмісту ТБК-активних продуктів за дії препарату «авакам<sub>м</sub>-1-с-експ», що свідчить про стабілізуючу дію компонентів препарату.

Препарат Аміномікс у поєднанні з метиламіном збільшує вміст фотосинтетичного пігменту у середньому в 3,2 рази, причому монодія метиламіну виявляється у більш істотному підвищенні цього показника. Досліджені рідкі комплексні препарати як у формі хелатованих карбоксилатів біогенних мікроелементів, так й мінеральних елементів у йонній формі на показники, можуть

<sup>1</sup> кандидат біологічних наук, доцент,  
доцент кафедри агрохімії  
(Державний біотехнологічний університет, м. Харків)  
e-mail :chechuichehui@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-8514-397X

<sup>2</sup> кандидат хімічних наук, доцент,  
професор кафедри біотехнології та хімії  
(Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава)  
ORCID: 0000-0002-844-2490

застосовуватись як адаптогени за негативних умов агровиробництва. Результати проведеної роботи можуть бути використані у розробці нових сучасних добрив певної біологічної дії на рослини за станів розбалансування хімічних сполук в системі ґрунт-рослина.

**Ключові слова:** тритикале, кадмію хлорид, експериментальні добрива, сукцинат, метиламін, амінотрансферази, глутаматдегідрогеназа, фенольні сполуки, ТБК-реактивні продукти.

## THE ACTIVITY OF KEY ENZYMES OF NITROGEN METABOLISM AND CONTENT OF POLYPHENOLS OF TRITICOSECALE L. UNDER LIQUID COMPLEX PREPARATIONS

H. F. Chechui, V. Ye. Krykunova

Nitrogen metabolism is one of the important metabolic pathways of the functioning of the plant organism, the task of this work is to clarify the biological action of intermediate compounds of nitrogen metabolism, namely, organic acids and amines moreover, both in monodia and in the composition of liquid complex fertilizers, on the activity of key enzymes of nitrogen metabolism, the content of phenolic compounds, TBC-reactive compounds, chlorophyll and ammonia nitrogen in the leaves of *Triticosecale L.* at the stage of the beginning of tillering. Centrifugation, titration, spectrophotometry and colorimetry methods were used in the experiments. It was found that the effect of the drug Avatarm-2-c increases the activity of AsAT and ALAT by 3.88 and 4.12 times, and GDH by only 19%, respectively. The effect of the organic acid and amine studied in the work on the activity of the above-mentioned key enzymes of nitrogen metabolism indicates the specificity of the corresponding chemical reactions, for example, sodium succinate increased the activity of AsAT by 4.2 times, and ALAT by 2.8 times, while the indicator of GDH activity did not change relative to control values. The drug Aminomix in combination with methylamine increased the activity of transaminases by 3.9% and 4.2%, respectively, and the effect of this drug on the activity of dehydrogenase differs downward by 1.7 times, while methylamine had an unequal effect on the activity of AsAT and ALAT, in particular, the activity of the first enzyme increased by 48.3%, and ALAT by 37.5%. The effect of the drug Aminomix in combination with methylamine on GDH activity is manifested in its decrease, on average, by 34.6%. As for the assessment of the level of TBC-active products under the action of the drug Avatar<sub>m</sub>-2-s and «avakam<sub>m</sub>-1-s-exp», a more significant increase of this indicator is found for the second drug, in particular, on average, by 3.8 times, and for the first – 1.9 times. However, the content of phenolic compounds did not correlate with the increase in the content of TBC-active products under the influence of the drug «avakam<sub>m</sub>-1-s-exp», which indicates the stabilizing effect of the components of the drug. The drug Aminomix + methylamine increases the content of photosynthetic pigment, on average, by 3.2 times, and methylamine monodiamine manifests itself in a more significant increase of this indicator. The investigated liquid complex preparations both in the form of chelated carboxylates of biogenic microelements and mineral elements in ionic form can be used as adaptogens under negative conditions of agricultural production. The results of the conducted work can be used in the development of new modern fertilizers with a certain biological effect on plants in conditions of imbalance of chemical compounds in the soil-plant system.

**Key words:** triticale, cadmium chloride, experimental fertilizers, succinate, methylamine, aminotransferases, glutamate dehydrogenase, phenolic compounds, TBC-reactive products.

### Вступ

Виробництво якісної рослинної сировини в оптимальній для споживача кількості є завданнями сучасної біології рослин (Камінський та ін., 2017; Примаць, 2020). Фізіологічний стан та продуктивність рослин залежить від їхнього метаболічного стану на кожному етапі життєдіяльності. Одним із важливих метаболічних шляхів функціонування рослинного організму є азотний метаболізм, який пов'язаний із чисельними біохімічними реакціями, в основі яких лежать хімічні реакції взаємоперетворення нітро-

геновмісних непротеїногенних та протеїногенних сполук (Fengetal, 2020).

Серед зернових культур провідне місце займає тритикале яре (*Triticosecale L.*) – важлива в харчовому відношенні культура, яка є альтернативою виробництва ярих пшениці та жита та виробляється на зелений корм сільськогосподарських тварин й птиці. Критичними етапами органогенезу тритикале ярого при формуванні продуктивних органів є етап утворення перших сформованих листків та фаза кушціння, причому перша забезпечує ступінь оптимальної

густоти продуктивних стебел, а на другій відбувається закладка квіток у колосках (Панфілова, 2023).

Одними з ключових ензимів азотного метаболізму зернових колосових культур є аспартатамінотрансфераза (ЕС 2.6.1.1, AsAT), аланінамінотрансфераза (ЕС 2.6.1.2, AlAT) та глутаматдегідрогеназа (ЕС1.4.1.2-4, NAD-GDH). Перший ензим каталізує реакцію перенесення  $\text{NH}_2$ -групи між аспарагіновою кислотою та  $\alpha$ -кетоглутаратом, другий – бере участь у перенесенні аміногрупи між аланіном та  $\alpha$ -кетоглутаратом із синтезом пірувату та глутамату. Кофактором цих двох ензимів є піридоксальфосфат (Kendzioreketal, 2012; Maciaga et al., 2013). Третій ензим, кофактором якого є фосфорильований нікотинаденіндинуклеотид, каталізує реакцію асиміляції  $\alpha$ -кетоглутарату з  $\text{NH}_3$  з утворенням глутамату (Garbowskaetal, 2012). Метаболічними формами азоту у листках тритикале ярого є амонійний, аміачний, амінний, нітритний, нітратний, причому перша, амонійна ( $\text{NH}_4^+$ ), є єдиною формою цього мікроелементу, яка перетворюється в органічні сполуки, такі як амінокислоти та їх похідні (Ye et al., 2022; Chengbinetal, 2023).

Глутамат у листках зернових культур є проміжною сполукою для синтезу фотосинтетичного пігменту хлорофілу, попередником якого є  $\delta$ -амінолевулінат, як результат конденсації гліцину та сукциніл-СоА, що свідчить про взаємозв'язок між хлорофілом та інтермедіатами азотного метаболізму. Сполуки, що використовуються у вищезазначених ензиматичних реакціях, у листках зернових культур беруть участь в чисельних біохімічних процесах. Так, з амінокислот в процесі дезамінування синтезуються органічні кислоти, зокрема, із треоніну та лізину – сукцинат, а в реакціях декарбоксілювання – аміни, наприклад, з гліцину утворюється метиламін (Takeo, 1973; López-Bucioetal, 2001; Daoetal, 2022; Liuetal, 2022). Також у хлоропластах зернових культур на етапі формування перших листків ароматичні амінокислоти є джерелом утворення сполук вторинного генезу, зокрема, поліфенолів, або фенольних сполук, що здійснюється у фенілпропаноїдному циклі в системі поліфенол – поліфенолоксидаза (Vogt, 2010; Babenkoetal, 2019). Хлорогенова кислота є фенольною сполукою, що може поєднувати метаболічні шляхи поліфенолів, оскільки за шикиматного шляху перетворюється за дії, щонайменше, трьох ключових

ензимів фенілпропаноїдної системи – феніланінамоніакліази, галлосинатогідроксилтрансферази та шикиматгідроксилсина-тооксидоредуктази (Yang, 2016). Фенольні сполуки завдяки поєднанню із бензольним кільцем гідроксильним групам здатні проявляти адаптивний ефект за метаболічних станів, пов'язаних із підвищенням вмісту вільних радикалів у фотосинтезуючих клітинах. Крім того, регуляторним механізмом контролю рівня вільних радикалів у клітинах листків зернових культур є рівень сполук, що реагують з тіобарбітуровою кислотою, з'ясування вмісту яких та фенольних сполук на ранніх стадіях життєдіяльності має додатковий внесок для розуміння механізмів регуляції азотного метаболізму в процесі агровиробництва рослин.

Актуальним є виявлення потенційних продуктивних можливостей рослин на ключових етапах органогенезу зернових колосових культур при застосуванні рідких комплексних добрив на усіх стадіях агро-виробництва з метою порівняння ефектів даних агробіологічних засобів. Авторами даного дослідження розроблено експериментальний рідкий комплексний препарат, складові якого знаходяться в йонному стані та порівняно його дію із стандартизованим рідким комплексним препаратом, який є карбоксилатною формою біогенних елементів. Крім того, у роботі використано стандартизований препарат, який містить протеїногенні амінокислоти, який поєднано з аміном – метиламіном – продуктом декарбоксілювання гліцину. Відомо, що хімічною основою рідких комплексних добрив є NPK у різному співвідношенні, які застосовуються як окремо, так й у поєднанні із макро-, мікро- та ультрамікроелементами, а також органічними сполуками. При цьому, якщо біологічний ефект макроелементів у складі рідких комплексних добрив на біохімічні показники агро-посівів є достатньо вивченим, то вплив мікро- та ультрамікроелементів, а також органічних сполук знаходиться на стадії з'ясування. Так, макроелементи у вільній формі беруть участь у важливому фізіологічному процесі – мінеральному живленні рослин, а у зв'язаній є складовими органічних сполук, зокрема, N – протеїнів, амінокислот, нуклеїнових кислот, амідів, алкалоїдів, нуклеозидів, фосфоліпідів, глікозидів ціаногенних, фітогормону індолілоцтової кислоти, тіаміну, P – нуклеїнових кислот, фосфоровмісних пептидів, фос-

фогліцеринової кислоти, рибулозобіфосфату, K і Na – ензимів K-Na-АТФаз, Mg – магнієвмісних ензимів, Са – кальмодуліну та біомембран, S – амінокислот цистеїну, метіоніну, селенометіоніну, трипептиду глутатіону, ацетилкоензиму. Щодо мікроелементів, то вони регулюють активність мінералоензимів. Вищенаведені органічні кислоти та аміни беруть участь у важливих фізіологічних процесах життєдіяльності рослин, таких, як фотосинтез, фотодихання, цикл Кребса, гліоксилатний цикл (Igamberdiev et al., 2018). Отже, завданням даної роботи є з'ясування біологічної дії проміжних сполук азотного метаболізму, а саме, органічних кислот та амінів, причому, як у монодії, так й у складі рідких комплексних добрив, на активність ключових ензимів азотного метаболізму, вміст фенольних сполук, ТБК-реактивних сполук, хлорофілу та аміачного азоту в листі *Triticosecale L.* на стадії початку куціння при формування продуктивних органів цієї культури. З огляду на вищенаведене, мета даної роботи наведена вище.

#### Матеріал і методи

В роботі використовували насіння тритикале ярого (*Triticosecale L.*) сорту Микола. Вирощування рослини здійснювали у вегетаційних ємкостях, заповнених ґрунтом, подрібненим через сито до розміру агрегатів останнього 0,25 мм, попередньо взятим за допомогою буру з орного шару виробничих земельних ділянок Роганського стаціонару ДП «Науково-дослідне господарство «Докучаєвське»» Державного біотехнологічного університету, який, більшою мірою, містив чорноземи типові на карбонатному лесі. Агрохімічний фон створювали шляхом поливу рослин розчинами макросолей NPK у формі  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  та  $\text{P}_2\text{O}_5$  у концентрації 33, 66, 24 мМ, відповідно, приготовлених на дейонізованій воді (контрольні розчини). Насіння пророщували за цих умов до фази появи над поверхнею субстрату другого листка. Кожний варіант експерименту здійснювали у чотирикратній повторюваності, по 40 рослин у кожному варіанті та його повторенні. На етапі формування двох сформованих листків здійснювали їх екзогенну та позакореневу обробку шляхом використання наступних розчинів: 1) стандартизований робочий рідкий комплексний препарат Аватар<sub>м</sub>-2-с, що містив макроелементи  $\text{N}_{3,18}:\text{P}_{18}:\text{K}_{18}:\text{Ca}_{1,9}:\text{Mg}_{0,32}:\text{S}_{0,8}$ , а також хелатовані сукцинатом натрію карбоксилати мікроелементів: Zn, Fe, Mn, Cu, Mo, ультрамікроеле-

ментів, Se, Si, Ag, V, Ni, Ti, La, Ge, Cr, Cs, який розроблено Українським НДІ нанотехнологій та ресурсозбереження КНУ, в ході виготовлення якого органохелати біогенних елементів отримували з їх колоїдних розчинів шляхом хелатування наночастинок металів сукцинатом (Косінов і Каплушенко, 2019); 2) експериментальний рідкий комплексний препарат під робочою назвою «авакам<sub>м</sub>-1-с-експ», який розроблений автором даної роботи разом із групою науковців з урахуванням сумісності катіонної та аніонної частини його складових, тобто синергетично-антагоністичних взаємодій окремих елементів, а також певної послідовності додавання у суміш в ході виробництва препарату. Препарат містить компоненти у іонній формі, зокрема, мінеральні компоненти: макросолі у формі ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ), мікро-, ультрамікроелементи, зокрема, Zn, Fe, Mn, Cu, Mo, Se, Si, Ag, Ni, Ti, La, Ge, Cr, Au, Ba, Sr, а також органічні компоненти:  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  та натрію сукцинат. Катіонна частина препаратів «авакам<sub>м</sub>-1-с-експ» відрізняється від препарату Аватар<sub>м</sub>-2-с відсутністю Vi Cs, але з внесенням у рецептуру Ba, Au та Cr; 3) стандартизований комплексний препарат «Аміномікс» + метиламін у концентрації 0,75 мМ. Препарат «Аміномікс» містить протеїногенні амінокислоти, зокрема, незамінні – триптофан, треонін, частково незамінну АК – аргінін, а також замінні амінокислоти – аланін, пролін, гліцин, аспарагін, глутамат; 4) натрію сукцинат у концентрації 1,5 мМ; 5) металаміну концентрації 0,75 мМ. В якості контролю використовували варіанти із поживною сумішшю. Аналізували дослідні показники у листках рослин у фазу початку куціння з відбиранням листових пластинок разом із міжвузлом піхв, тобто на восьму добу експерименту із дослідними препаратами.

Активність AsAT та AlAT визначали після центрифугування за реакцією із 2,4-динітрофенілгідрозиною у лужному середовищі за внесення субстратно-буферного розчину, що містив фосфатний буфер, аспарагінову кислоту та 2-оксоглутарат, реакції проводили у лужному середовищі згідно (Reitman, 1966), модифікованим для рослинного матеріалу. Активність досліджуваних ферментів визначали за допомогою фотоелектроколориметру КФК-2 при  $\gamma$  540 нм. Активність AsAT вимірювали у мітохондріальній фракції гомогенату та виражали в мкМ пірувату / (год · г сирової тканини), AlAT –

у цитозольній фракції та виражали в мкМ оксалоацетату / (год · г сирої тканини).

Активність NAD-GDH визначали із реакцією з феназинметосульфатом за наявності у трис-гліциновому буфері (рН 7,8) меркаптоетанолу, амонію хлориду із запуском реакції NADH із початком реакції при внесенні NADH. Вимірювання концентрації ензиму здійснювали за допомогою спектрофотометру СФ-26 при  $\gamma$  340 нм згідно (Barash et al, 1973). Активність ензиму виражали в мкМ коензиму NAD<sup>+</sup> / (хв · г сирої тканини).

Вміст ТБК-активних продуктів визначали із реакцією з 2-тіобарбітуровою кислотою після осадження протеїнів трихлороцтовою кислотою із додаванням бутанолу до безбілкових розчинів. Екстинцію визначали за допомогою спектрофотометру СФ-26 при  $\gamma$  532 нм згідно (Hognes et al, 1977), використовуючи коефіцієнт молярної екстинкції. Отримані результати виражали у нМ малонового діальдегіду / г сирої тканини.

Вміст фенольних сполук визначали із реактивом Фоліна-Чокалтеу після знебарвлення хлорофілу згідно (Slinkard, 1977; Naczka et al., 2006; Louisetal, 2017), використовуючи в якості стандарту хлорогенову кислоту. Результати дослідження виражали у мкг хлорогенової кислоти / г сирої тканини.

Вміст NH<sub>4</sub><sup>+</sup> визначали напівмікрометодом за реакцією з гіпохлоридом, натрію нітропрусидом та саліцилатом при титруванні сірчаною кислотою, після мокрого озолення рослинного матеріалу, за допомогою спектрофотометру СФ-26 при  $\gamma$  578 нм згідно (Shapiro, 1970; Husted, 2000). У якості стандарту використовували амонію хлорид, а результати дослідження виражали у мг N-NH<sub>3</sub> / 100 г сухої тканини.

Вмісту хлорофілу визначали в етанольних фільтратах колориметричним методом за допомогою фотоколориметру КФК-2 при  $\gamma$

650 нм згідно (Присядський, 2016). В якості стандарту використовували розчин Гетері. Результати дослідження виражали у мг/г сирої тканини.

Отримані експериментальні дані оброблені ізвикористанням пакету програми методів біостатистики Biostat 10 із визначенням М-середнього та sem-похибки середнього. Вірогідність розбіжностей між групами варіантів визначали із використанням непараметричного критерію Wilcoxon-Manni-Witney (Антаментова, 2014).

### Результати

За дії препарату Аватар<sub>м</sub>-2-с виявлено підвищення активності AsAT та AlAT у середньому в 3,88 та 4,12 рази відповідно, а активності GDH лише на 19%.

Водночас, дія експериментального препарату на активність досліджених ензимів мала інший біологічний ефект, що визначається у меншому рівні їх активації по відношенню до контрольних критеріїв, зокрема, на 48,7%, 38,5% та на 66,2% відповідно (табл. 1).

В реакціях AlAT утворюється піруват – ключовий субстрат глюконеогенезу, підвищення якого може сприяти активації синтезу вуглеводів, необхідних для ростових процесів. Ензимами AsAT та AlAT відіграють ключову роль у метаболізмі аспартату, аланіну та глутамату. Окрім того, ці два ензими використовуються в метаболізмі аспарагіну і глутаміну, у зв'язку з чим підвищення їх активності є умовою накопичення цих амінів в якості резерву NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Дія досліджених у роботі органічної кислоти та аміну на активність вищенаведених ключових ензимів азотного метаболізму відрізнялась, що свідчить про специфіку відповідних хімічних реакцій. Так, сукцинат натрію збільшував активність AsAT в середньому у 4,2 рази, а AlAT – у 2,8 разів, при

Таблиця 1

Активність ключових ензимів азотного метаболізму в листках *Triticosecale* L. на етапі початку кущіння за умов експерименту, M $\pm$ sem, n=5

Фактори впливу	AsAT, мкМ пірувату / (год · г сирої тканини)	AlAT, мкМ оксалоацетату / (год · г сирої тканини)	GDH, мкМ коензиму NAD <sup>+</sup> / (хв · г сирої тканини)
Контроль	11,08 $\pm$ 0,67	8,22 $\pm$ 0,40	0,93 $\pm$ 0,08
Аватар <sub>м</sub> -2-с	42,91 $\pm$ 1,73*	34,42 $\pm$ 1,25*	0,78 $\pm$ 0,12
Авакам <sub>м</sub> -1-с-експ	20,80 $\pm$ 1,04*	19,33 $\pm$ 1,12*	1,35 $\pm$ 0,06*
Натрію сукцинат	46,72 $\pm$ 2,11*	30,05 $\pm$ 1,79*	0,82 $\pm$ 1,14
Аміномікс + метиламін	36,17 $\pm$ 0,38 *	33,53 $\pm$ 0,84*	0,57 $\pm$ 0,06*
Метиламін	17,87 $\pm$ 0,61*	11,33 $\pm$ 0,41*	0,68 $\pm$ 1,03*

\* $p < 0,05$  відносно контрольних значень

цьому показник активності GDH не змінювався відносно контрольних значень.

Препарат Аміномікс у поєднанні з метиламіном збільшував активність трансаміназ у 3,9 та 4,2 рази відповідно, а на активність дегідрогенази дія цього препарату виявилась інгібуючою, що мало прояв у зниженні показників у 1,7 рази.

Водночас, метиламін викликав збільшення активності AsAT та AlAT на 48,3 та 37,5% відповідно. Дія препарату Аміномікс у поєднанні з метиламіном призвела до зниження активності GDH у середньому на 34,6%.

Підвищення активності амінотрансфераз пояснюється сумісною дією амінокислот у складі препарату Аміномікс, зокрема, гліцину, глутаміну, треоніну, аспарагінової кислоти, проліну, аргініну, лізину, аланіну та триптофану, а також амінів. Цей ефект відображає регуляцію синтезу інтермедіатів азотного метаболізму, пов'язаного із чисельними біохімічними процесами у листках тритикале ярого. Так, аланін, триптофан, гліцин та треонін метаболізуються до пірувату, в той час, як триптофан та лізин – до ацетил-КоА, а глутамін, аргінін, гістидин та пролін – надходять до циклу трикарбонових кислот у вигляді  $\alpha$ -кетоглутарату, в результаті чого має місце метаболічний стан, що характеризується збільшенням амінотрансферазної активності у поєднанні із нормалізацією активності  $NAD^+$ -залежної GDH відносно контрольних значень. Синтез амінокислот за рахунок  $\alpha$ -кетокислот здійснюється в реакціях, які активуються системою глутамінсинтаза/оксалоацетатамінотрансфераза. В листках *Triticosecale* L. на стадії кушення активно відбуваються фотодихальні процеси, в яких безпосередню роль відіграють органічні кислоти. Органічна кислота сукцинат, що входить до складу досліджених нами рідких комплексних препаратів, у клітинах листків *Triticosecale* L. перетворюється на  $\gamma$ -аміномасляну кислоту та поліфеноли. Інгібування електронтранспортного ланцюга у хлоропластах листків пшениці озимої призводить до підвищення вмісту сукцинату, який у цитозолі клітини рослини включається до синтазної реакції разом із гліоксилатом, а рівень вмісту сукцинату може свідчити про неповне окиснення фурамату, що є наслідком пригнічення мітохондріального дихального ланцюга за умов активного фотосинтезу на стадії формування листків та початку кушення зернової колосової культури.

Синтез амінокислот на світлі пов'язаний із функціонуванням фотодихального метаболізму Нітрогену за участі  $NH_3$ , синтезованого шляхом конденсації серин-гліцин, а також системи глутамінсинтаза-глутаматсинтаза (Lancienetal, 2018). Синтез амінокислот, поєднаний із фотодиханням в листках тритикале, є одним із шляхів метаболізму Нітрогену, причому, фотодихальним інтермедіатом для синтезу гліцину є гліоксилат, а джерелом 2-оксикислот для утворення аланіну, глутамату та аспартату є синтазні реакції (López-Bucioetal, 2001). Нітрогеновмісні продукти цих ензиматичних реакцій використовуються у кількох біохімічних процесах у листках тритикале, таких як утворення амінокислот шляхом амінування кетокислот, накопичення глутаміну, окиснення в циклі Кребса із синтезом аденозинтрифосфатів та відновних еквівалентів. Синтез амінокислот за рахунок  $\alpha$ -кетокислот здійснюється в реакціях, які активуються системою глутамінсинтаза/оксалоацетатамінотрансфераза.

У табл. 2 наведено вміст ТБК-активних продуктів та поліфенолів в листках *Triticosecale* L. на етапі початку кушення за умов експерименту.

Що стосується оцінки рівня ТБК-активних продуктів за дії препарату Аватар<sub>м</sub>-2-с та «авакам<sub>м</sub>-1-с-експ», то виявляється більш істотне підвищення цього показника за дії другого препарату (в середньому у 3,8 рази) порівняно із першим, дія якого викликала збільшення вмісту ТБК-активних продуктів у 1,9 рази. Така динаміка може свідчити про розвиток стресового стану, що може пояснюватись токсичним ефектом небіогенних елементів в іонній формі відносно нанокарбоксилатів останніх. Проте, вміст фенольних сполук не корелював із збільшенням вмісту ТБК-активних продуктів за дії препарату «авакам<sub>м</sub>-1-с-експ», оскільки відбувається зниження поліфенолів у середньому на 36,2%, що пояснюється ефектом ультрамікроелементів, зокрема, відсутністю V та Cs, які в листках дослідженої колосової культури, ймовірно, мають певну токсичність, а введені у рецептуру експериментального препарату Ba, Au, Sr спричиняють адаптаційний ефект. У зв'язку цим, цікавим є з'ясувати монодію цих елементів подальших експериментах даного напрямку.

В той же час, вплив препарату Аватар<sub>м</sub>-2-с на вміст ТБК-активних продуктів та фенольних сполук мав наступний ефект:

Таблиця 2

Вміст ТБК-активних продуктів та поліфенолів в листках *Triticosecale* L. на етапі початку куштиння за умов експерименту,  $M \pm \text{sem}$ ,  $n=7$

Фактори впливу	ТБК-активні продукти, нМ малонового діальдегіду / г сирової тканини	Фенольні сполуки, мкг хлорогенової кислоти/ г сирової тканини
Контроль	31,17±4,86	84,02±9,18
Аватарм-2-с	57,78±4,20*	100,42±9,56*
Авакамм-1-с-експ	82,33±5,60*	61,68±7,13*
Натрію сукцинат	70,26±6,47*	74,06±9,32
Аміномікс + метиламін	25,54±1,73*	95,70±8,72
Метиламін	20,72±1,48*	78,38±7,85

\* $p \leq 0,05$  відносно контрольних значень

вміст першого показника збільшувався у середньому в 1,8 рази, а другого – в 3,1 рази, що свідчить про неоднаковий ефект досліджених препаратів на антиоксидантно-прооксидантний статус у клітинах листків рослини, який можна пояснити ефектом різних хімічних форм та складу компонентів, що входять до рецептури рідких комплексних препаратів. Головним діючим початковим елементом, що забезпечує фенольним антиоксидантам здатність гальмувати вільнорадикальні процеси окиснення є гідроксильна група, яка приєднана до ароматичного кільця та містить рухливий атом водню. Разом з тим, антиоксидантний ефект поліфенолів реалізується за наявності і інших окисно-відновних пар. Антиоксидантні властивості фенолів можуть виявлятися у знешкодженні активних форм кисню, вміст яких підвищується за дії токсикантів. Початковим етапом у розвитку ПОЛ (перекисного окиснення ліпідів) є інтенсифікація утворення вільних радикалів у клітинах за умов стресу. Тому ми визначили вміст одного з показників ПОЛ, а саме, вміст ТБК-активних продуктів, оскільки він є найбільш адекватним тестом на процеси ліпопероксидації. Фенольні сполуки взаємодіють з іонами металів та мають антиоксидантні властивості. Фенольні антиоксиданти ефективно взаємодіють з гідропероксидними радикалами жирних кислот і ненасичених ліпідів. Причому, у першу чергу, підлягають окисненню ненасичені жирнокислотні залишки фосfolіпідів. Крім того, в системі поліфенол-поліфенолоксидаза відбувається неферментативне дезамінування амінокислот за участі хлорогенової кислоти.

Виявлено (Jengetal, 1999; Yan et al., 2015; Grzankaetal, 2020; Carbajal-Vázquez et al., 2022) антиоксидантний ефект таких уль-

трамікроелементів, як La, Se, Mn, Ge, V, Ag, Si, Ti, які разом із сукцинатом спричиняють регуляцію активності досліджених ензимів (див. табл. 1), оскільки активність останніх зменшується при одночасного підвищення вмісту ТБК-активних продуктів, що, ймовірно, пов'язано із синтезом достатнього пулу проміжних інтермедіатів метаболізму для забезпечення оптимального перебігу фізіологічних процесів у клітинах листків *Triticosecale* L. за умов експерименту. Джерелом  $\text{NH}_4^+$  для синтезу аланіну та аспартату в листках пшениці озимої також є переамінування фенілаланінуза дії фенілаланінаміаклази, а також тирозину за дії тирозинаміаклази, за дії якої синтезується кумарова кислота – попередник поліфенолів: кавової, синапової та ферулової кислот. Кавова кислота використовується для синтезу хлорогенової кислоти – одного з компонентів системи поліфенол-поліфенолоксидаза, в якій відбувається активне дезамінування амінокислот. Акцептором  $\text{H}_2$  в реакціях дезамінування амінокислот є хінони, які у цій системі генерують активні форми кисню, зокрема,  $\text{H}_2\text{O}_2$  (Del Rio et al., 2018), тому збільшення вмісту ТБК-активних продуктів за впливу препаратів свідчить про оптимізацію процесів вільнорадикального окислення ліпідів, що впливає на оптимальний метаболізм амінокислот в листках зернової культури. Фіксація  $\text{NH}_3$  у листках має лімітуюче значення у перетворенні амінокислот, інтенсивність включення якого в останні відбувається за дії ензимів метаболізму глутаміну, одним із яких є глутамінсинтаза (ГС, ЕС 6.3.1), яка каталізує процес асиміляції глутаміну та аміаку. Фіксація іншої форми Нітрогену –  $\text{NH}_4^+$  здійснюється за дії другого ензиму метаболізму глутаміну – глутаматдегідрогенази. Фіксація глутаміну за дії ензиму

Таблиця 3

Вміст азоту амонійного та хлорофілу в листках *Triticosecale* L. на етапі початку куштиння за умов експерименту,  $M \pm \text{sem}$ ,  $n=6$

Фактори впливу	$\text{NH}_4^+$ , г / 100 г сухої тканини	Хлорофіл, мг / г сирової наважки
Контроль	22,93±0,78	8,71±1,64
Аватар <sub>м</sub> -2-с	37,57±1,54*	12,84±1,18*
Авакам <sub>м</sub> -1-с-експ	42,18±1,33*	14,26±1,37*
Натрію сукцинат	16,12±1,18	22,30±2,05*
Аміномікс + метиламін	63,40±2,73*	19,32±3,46*
Метиламін	50,27±2,05*	26,04±1,89*

\* $p \leq 0,05$  відносно контрольних значень

ГС – важливий процес регуляції балансу N / C у рослинах (Sharipoetal, 1970). Нітроген є компонентом пірольних кілець, що формують порфіринові ядра основного фотосинтетичного пігменту – хлорофілу, тому актуальним є визначення останнього в зелених органах рослин.

У табл. 3 наведено вміст азоту амонійного та хлорофілу в листі *Triticosecale* L. на етапі початку куштиння за умов експерименту.

Вплив рідких комплексних препаратів Аватар<sub>м</sub>-2-с та «авакам<sub>м</sub>-1-с-експ» на вміст  $\text{NH}_4^+$  та хлорофілу проявляється у однакової тенденції, зокрема, у підвищенні цієї форми азоту в середньому у 1,7 та 1,9 рази відповідно, в той час як вміст хлорофілу також збільшується. Проте, натрію сукцинат викликає зменшення вмісту цієї азотної форми на 36,2% із одночасним підвищенням вмісту хлорофілу в середньому у 2,6 рази. Препарат Аміномікс + метиламін збільшує вміст фотосинтетичного пігменту в середньому у 3,2 рази, причому монодія метиламіну виявляється у більш істотному підвищенні цього показника, що може пояснюватись сумарним ефектом протеїногенних амінокислот, які є компонентами препарату Аміномікс, в той час, як амін має специфічну дію на активацію фотосинтезу, що має перспективу подальших досліджень амінів у різних хімічних поєднаннях та хімічних сполуках з метою розробки ефективних комплексних препаратів з певним фізіологічним впливом на перебіг метаболічних процесів в органах сільськогосподарських культур на ранніх етапах розвитку їх продуктивних органів.

Ключовим ензимом обміну хлорофілу та нітрогеновмісних сполук, що беруть участь

у стадіях фотодихання рослин типу  $\text{C}_3$ , як й об'єкт наших досліджень, є 1,5-рибулозобісфосфатоксигеназа, або  $\text{RuBisCO}$ . З'ясовано відновний розподіл N між клітинними компонентами листків пшениці озимої, який складає, %: хлоропласти – 7,8, мітохондрії – 4,8, – пероксисоми – 2,7, цитозоль – 9,3, клітинні стінки – 11,6 (Evans et al., 2019). Синтез хлорофілу поєднаний із метаболізмом гліколату у листках тритикале, вихідна сполука для його утворення –  $\delta$ -амінолевулінат – синтезується шляхом конденсації гліцину та сукциніл- $\text{CoA}$  – продуктів гліколатного шляху та циклу Кребса – з глутамату, а останній синтезується за фотодихального метаболізму. Підвищення вмісту хлорофілу за впливу рідких комплексних добрив пояснюється оптимізацією перебігу фотосинтезу за хімічних складових досліджених рідких комплексних препаратів.

#### Висновки

Дія рідких комплексних препаратів, як у формі хелатованих карбоксилатів біогенних мікроелементів, так й мінеральних елементів у йонній формі, викликає зміну досліджуваних показників, у зв'язку з чим, ці препарати можуть застосовуватись як адаптогени за негативних умов агровиробництва. Доведена специфічність впливу сукцинату та метиламіну на досліджені в експерименті критерії може дозволити включати ці препарати до рецептури інноваційних комплексних препаратів з урахуванням концентрації та хімічної форми. Результати проведеної роботи можуть бути використані у розробці нових сучасних добрив певної біологічної дії на рослин за станів розбалансування хімічних сполук в системі ґрунт-рослина.

#### Список використаної літератури

Землеробство: підручник / І.Д. Примак та ін. Київ : Центр навчальної літератури, 2020. 578 с.



Камінський В.Ф., Сайко В.Ф., Сушко М.В. Наукові ефекти використання виробничих ресурсів у різних моделях технологій використання зернових культур: монограф. Київ : Вінченко, 2017. 580 с.

Косінов М.В., Каплуненко В.Г. Пат. 49050 Україна МПК 2009, С07С 51-41, В82В3/000. Спосіб Каплуненка – Косінова отримання карбоксилатів з використанням нанотехнологій. Опубл. 12.04.2019, Бюл. № 7.

Панфілова А.В. Наростання надземної маси та формування врожайності зерна пшениці озимої в умовах південного степу України. *Аграрні інновації*. 2023. № 17. С. 107–112. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.17>.

Присядський Ю.Г. Фотосинтез: начальнo-методичний посібник / уклад. Ю. Г. Присядський. Вінниця : ДоНУ, 2016. 68 с.

Статистика для біологів: навчальний посібник / уклад. Л.О. Антаментова, О.М. Утєвська. Харків : Видавництво «НТМТ», 2014. 331 с.

Babenko L.M., Smirnov O.E., Romanenko K.O., Trunova O.K., Kosakivska I.V. Phenolic compounds in plants: biogenesis and functions. *Biochemical Journal*. 2019. Vol. 91. № 3. P. 5–18. <https://doi.org/10.15407/ubj91.03.005>.

Barash I., Sadon T., Mor H. Induction a specific isoenzyme of glutamate dehydrogenase by ammonia in oat leaves. *Nature New Biology*. 1973. Vol. 244. P. 150–152. <https://doi.org/10.1038/newbio24415a0>.

Carbajal-Vázquez N.H., Gómez-Merino F.C., Alcántar-González E.G. Titanium increases the antioxidant activity and macronutrient concentration in tomato seedling exposed to salinity in hydroponics. *Plants*. 2022. Vol. 11. № 8. P. 1036–1042. <https://doi.org/10.3390/plants11081036>.

Dao O., Kuhnet, F., Weber A.P.M., Peltier G., Li-Beisson Y. Physiological functions of malate shuttles in plant and aldae. *Trend in Plant Science*. 2022. Vol. 27. I. 5. P. 488–501. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.11.007.1>

Del Rio L.A., Sandalino L.M., Corpas F.J. Reactive oxygen species and reactive nitrogen species in leaves. Production, scavenging, and role in cell signaling. *Plant Physiol*. 2018. Vol. 241. P. 330–335.

Evans J.R. The nitrogen cost of photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*. 2019. Vol. 10. P. 7–15. <https://doi.org/10.1093/jeb/ery366>.

Feng H., Fan X., Miller A. J., Xu G. Plant nitrogen uptake and assimilation: regulation of cellular pH homeostasis. *Journal of Experimental Botany*. 2020. Vol. 71. P. 4386–4392.

Garbowska A., Kwinta J., Bielawski W. Glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase in triticale seeds: molecular cloning and genes expression. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2012. Vol. 34. P. 2393–2406. <https://doi.org/10.007/s11738-012-1085-9>.

Grzanka M., Smoleń S., Kovačik P. Effect of vanadium on the uptake and distribution of organic and inorganic forms of iodine in sweetcorn plants during early-stage development. *Agronomy*. 2020. Vol. 10. № 11. P. 1666–1674.

Hognes D.M., DeLong Y.M., Forney C.F., Prance R.K. Improving the thiobarbituric acid reactive substrates assay for estimating lipid peroxidation in plant tissue containing anthocyanin and other interfering compound. *Planta*. 1977. Vol. 207. P. 604–611.

Husted S., Mattsson M., Hebborn C. A critical experimental evaluation of methods for determination of NH<sub>4</sub><sup>+</sup> in plant tissue, xylem sap and apoplast acid. *Physiologia Plantarum*. 2000. Vol. 109. P. 167–179. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2000.100209.x>.

Igamberdiev A.U., Bykova N.V. Role of organic acids in the integration of cellular redox metabolism of redox signaling in photosynthetic tissues of higher plants. *Free Radical Biology and Medicine*. 2018. Vol. 122. P. 74–85. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.01.016>.

Jeng F., An Y., Zhang H., Zhang M. The effects of La(III) on the peroxidation of membrane lipids in wheat seedling leaves under osmotic stress. *Biological Trace Elementary Research*. 1999. Vol. 69. № 2. P. 141–150. <https://doi.org/10.0007/BF02783865>.

Kendziorek M., Paszkowski A., Zagdanska B. Differential regulation of alanine aminotransferase homologues by abiotic stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedling. *Plant Cell Rep*. 2012. Vol. 31. P. 1105–1117. <https://doi.org/10.1007/s00299-012-1231-2>.

Lancien M., Gadal P., Hodges M. Enzyme redundancy and the importance 2-oxoglutarate in higher plants ammonium assimilation. *Plant Physiological*. 2018. Vol. 123. P. 817–824.

López-Bucio J., Nieto-Jacobo M.F., Ramirez-Rodriguez V.V. Organic acids metabolism in plants: from adaptive physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils. *Plant Science*. 2001. Vol. 6. № 1. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/S0168-9452/00/00347-2>.

Louis H., Maitera O.N., Boro G., Barminas J.T. Determination of total phenolic content and some selected metals in extracts of *Moringa oleifera*, *Cassia tora*, *Ocinum gratissimum*, *Vernolia baldwinii* and *Telfairia occidentalis* plant leaves. *World News of Natural Sciences*. 2017. Vol. 11. P. 11–18.

Liu Dandan, Wang Kang, Xue Xiaoran, Wen Qiang, Qin Shiwen, Suo Yukai, Liang Mingzhi. The effect of different processing methods on the levels of biogenic amines in Zijuan Tea. *Food*. 2022. Vol. 11. № 9. P. 1260–1274. <https://doi.org/10.3390/foods11091260>.

Maciaga M., Czkop M., Paszkowski A. Biochemical characterization of aspartate aminotransferase allozymes from common wheat. *Central European Biological*. 2013. Vol. 2. № 12. P. 1183–1193. <https://doi.org/10.2478/s11535-013-0240-7.24>.

Naczka M., Shahidi F. Phenolic in cereals, fruits and vegetables: occurrence, extraction and analysis. *Journal of Pharmacology Biomedical Analyses*. 2006. Vol. 41. № 5. P. 1523–1542.

Reitman S.A., Frenkel S. Colorimetric methods for the determination of serum glutamic oxalactic and glutamic pyruvic transaminases. *American Journal Clinical Pathology*. 1966. Vol. 28. № 1. P. 56–63.

Shapiro B.S., Stadtman E.R. The regulation of glutamine synthesis in microorganisms. *Annual Review Microbiology*. 1970. Vol. 24. P. 504–522.

Slinkard K., Singleton V.L. Total phenol analyses: automation and comparison with manual methods. *American Journal Enol. Viticult.* 1977. Vol. 28. P. 49–55.

Takeo S. Metabolism of methylamine in the Tea plants (*Thea sinensis* L.). *Biochemical Journal*. 1973. Vol. 132. P. 753–763.

Vogt T. Phenylpropanoid biosynthesis. *Journal of Molecule Plants*. 2018. Vol. 3. № 1. P. 2–20.

Yan L., Longyu H., Gungliang Z., Qingmei L., Zeping J. Mechanism and application of germanium in plant growth. 2015. Vol. 23. № 8. P. 931–937. <https://doi.org/10.13390/j.cnki.cjea.150314>.

Yang H., Dong Y., Li M., Jin W., Zhang Y., Fu C. Regulation mechanism of chlorogenic acid accumulation during the floral organ development of *Lonicera confusa*. *International Journal of Agricultural Biology*. 2016. Vol. 18. P. 509–514. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0116>.

Ye J.Y., Tian W.H., Jin C.W. Nitrogen in plants: from nutrition to the modulation of abiotic stress adaptation. *Stress Biology*. 2022. Vol. 2. № 4. P. 518–527.

Xiao C., Fang Y., Wang S., He K. The alleviation of ammonium toxicity in plants. *J. Integrative Plant Biol.* 2023. Vol. 65. P. 1362–1368. <https://doi.org/10.1111/jipb.13467>.

## References

Prymak, I.D. (2020). *Zemlerovstvo: pidrychnik [Agriculture: study guide]*. Kiev : Centre naukovoï literatury. 578 p. [in Ukrainian].

Kaminskiy, V.F., Sayko, V.F., & Syshko, M.V. (2017). *Naukovi efekty vikorystannia vurobnichich resyrsiv u riznych modeliach tehnologiy vikorystannia zernovich kultur: monographia [Effects of the use of production resources under different models of grain crops, technologies of use: monograph]*. Kiev : Vinichenko. 580 p. [in Ukrainian].

Kosinov, M.V., & Kaplunenko, V.H. (2009). Pat. 49050 Ukraina MPK 2009, S07S 51-41, V82V3/000. Sposib Kaplunenka – Kosinova otrymannia karboksylativ z vykorystanniam nanotekhnolohii [Stalemate. 49050 Ukraine IPC 2009, C07C 51-41, B82B3/000. Kaplunenko's method – Kosinov production of carboxylates using nanotechnology]. Opubl. 12.04.2019, Biul. № 7 [in Ukrainian].

Panfilova, A.V. (2023). *Narostannia nadzemnoi masy ta vrozhaynosti zerna pshenutsi ozimoi v umovach pivdenного stepy Ukrainu [The growth of the above-ground mass and formation of the yield of winter wheat in the conditions of the southern steppe of Ukraine]*. *Ahrarni innovatsii [Agricultural innovations]*, 17, 107–112. <https://doi.org/10.32848/agraar.innov.2023.17> [in Ukrainian].

Prisyadskiy, Yu.G. (2016). *Photosintes: metoduchniy posibnik [Photosynthesis: methodical giude]*. Vinnitsa : DoNY. 68 p. [in Ukrainian].

Atramentova, L.O., & Utevskaia O.M. (2014). *Statistika dlia biologiv: navchalnyy posibnik [Statistics for biologists: study guide]*. Kharkiv: Vydavnistvo «NTMT». 331 p. [in Ukrainian].

Babenko, L.M., Smirnov, O.E., Romanenko, K.O., Trunova, O.K., & Kosakivska, I.V. (2019). Phenolic compounds in plants: biogenesis and functions. *Biochemical Journal*, Vol. 91, № 3, 5–18. <https://doi.org/10.15407/ubj91.03.005> [in English].

Barash, I., Sadon, T., & Mor, H. (1973). Induction a specific isoenzyme of glutamate dehydrogenase by ammonia in oat leaves. *Nature New Biology*, 244, 150–152. <https://doi.org/10.1038/newbio24415a0> [in English].

- Carbajal-Vázquez, N.H., Gómez-Merino, F.C., Alcántar-González, E.G. (2022). Titanium increases the antioxidant activity and macronutrient concentration in tomato seedling exposed to salinity in hydroponics. *Plants*, Vol. 11, № 8, 1036–1042. <https://doi.org/10.3390/plants11081036> [in English].
- Dao, O., Kuhnet, F., Weber, A.P.M., Peltier, G., & Li-Beisson, Y. (2022). Physiological functions of malate shuttles in plant and aldae. *Trend in Plant Science*, Vol. 27, I, 5, 488–501. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.11.007.1> [in English].
- Del Rio, L.A., Sandalino, L.M., & Corpas, F.J. (2018). Reactive oxygen species and reactive nitrogen species in leaves. Production, scavenging, and role in cell signaling. *Plant Physiol*, 241, 330–335 [in English].
- Evans, J.R. (2019). The nitrogen cost of photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, 10, 7–15. <https://doi.org/10.1093/jeb/ery366> [in English].
- Feng, H., Fan, X., Miller, A.J., & Xu, G. (2020). Plant nitrogen uptake and assimilation: regulation of cellular pH homeostasis. *Journal of Experimental Botany*, 71, 4386–4392 [in English].
- Garbowska, A., & Kwinta, J., (2012). Bielawski, W. Glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase in triticale seeds: molecular cloning and genes expression. *Acta Physiologiae Plantarum*, 34, 2393–2406. <https://doi.org/10.007/s11738-012-1085-9> [in English].
- Grzanka, M., Smoleń, S., & Kovačik, P. (2020). Effect of vanadium on the uptake and distribution of organic and inorganic forms of iodine in sweetcorn plants during early-stage development. *Agronomy*, Vol. 10, № 11, 1666–1674 [in English].
- Hognes, D.M., DeLong Y.M., Forney, C.F., & Prance, R.K. (1977). Improving the thiobarbituric acid reactive substrates assay for estimating lipid peroxidation in plant tissue containing anthocyanin and other interfering compound. *Planta*, 207, 604–611 [in English].
- Husted, S., Mattsson, M., & Hebborn, C. (2000). A critical experimental evaluation of methods for determination of  $\text{NH}_4^+$  in plant tissue, xylem sap and apoplast acid. *Physiologia Plantarum*, 109, 167–179. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2000.100209.x> [in English].
- Igamberdiev, A.U., & Bykova, N.V. (2018). Role of organic acids in the integration of cellular redox metabolism of redox signaling in photosynthetic tissues of higher plants. *Free Radical of Biology and Medicine*, 122, 74–85. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.01.016> [in English].
- Jeng, F., An, Y., Zhang, H., & Zhang, M. (1999). The effects of La(III) on the peroxidation of membrane lipids in wheat seedling leaves under osmotic stress. *Biological Trace Elementary Research*, Vol. 69, № 2, 141–150. <https://doi.org/10.0007/BF02783865> [in English].
- Kendziorek, M., Paszkowski, A., & Zagdanska, B. (2012). Differential regulation of alanine aminotransferase homologues by abiotic stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedling. *Plant Cell Rep*, 31, 1105–1117. <https://doi.org/10.1007/s00299-012-1231-2> [in English].
- Lancien, M., Gadal, P., & Hodges, M. (2018). Enzyme redundancy and the importance 2-oxoglutarate in higher plants ammonium assimilation. *Plant Physiological*, 123, 817–824 [in English].
- López-Bucio, J., Nieto-Jacobo, M.F., & Ramirez-Rodrigues, V.V. (2001). Organic acids metabolism in plants: from adaptive physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils. *Plant Science*, Vol. 6, № 1, 1–13. <https://doi.org/10.1016/S0168-9452/00/00347-2> [in English].
- Louis, H., Maitera, O.N., Boro, G., & Barminas, J.T. (2017). Determination of total phenolic content and some selected metals in extracts of *Moringa oleifera*, *Cassia tora*, *Ocimum gratissimum*, *Vernolia baldwinii* and *Telfairia occidentalis* plant leaves. *World News of Natural Sciences*, 11, 11–18 [in English].
- Liu, Dandan, Wang, Kang, Xue, Xiaoran, Wen, Qiang, Qin, Shiwen, Suo, Yukai, & Liang, Mingzhi. (2022). The effect of different processing methods on the levels of biogenic amines in Zijuan Tea. *Food*, Vol. 11, № 9, 1260–1274. <https://doi.org/10.3390/foods11091260> [in English].
- Maciaga, M., Czkop, M., & Paszkowski, A. (2013). Biochemical characterization of aspartate aminotransferase allozymes from common wheat. *Central European Biological*, Vol. 2, № 12, 1183–1193. <https://doi.org/10.2478/s11535-013-0240-7.24> [in English].
- Naczka, M., & Shahidi, F. (2006). Phenolic in cereals, fruits and vegetables: occurrence, extraction and analysis. *Journal of Pharmacology Biomedical Analyses*, Vol. 41, № 5, 1523–1542 [in English].
- Reitman, S.A., & Frenkel, S. (1966). Colorimetric methods for the determination of serum glutamic oxalacetic and glutamic pyruvic transaminases. *American Journal Clinical Pathology*, Vol. 28, № 1, 56–63 [in English].
- Shapiro, B.S., & Stadtman, E.R. (1970). The regulation of glutamine synthesis in microorganisms. *Annual Review Microbiology*, 24, 504–522 [in English].

- Slinkard, K., & Singleton, V.L. (1977). Total phenol analyses: automation and comparison with manual methods. *American Journal Enol. Viticult*, 28, 49–55.
- Takeo, S. (1973). Metabolism of methylamine in the Tea plants (*Thea sinensis* L.). *Biochemical Journal*, 132, 753–763 [in English].
- Vogt, T. (2018). Phenylpropanoid biosynthesis. *Journal of Molecule Plant*, Vol. 3, № 1, 2–20 [in English].
- Yan, L., Longyu, H., Gungliang, Z., Qingmei, L., & Zeping, J. (2015). Mechanism and application of germanium in plant growth. Vol. 23, № 8, 931–937. Doi 10.13390/j.cnki.cjea.150314 [in English].
- Yang, H., Dong, Y., Li, M., Jin, W., Zhang, Y., & Fu, C. (2006). Regulation mechanism of chlorogenic acid accumulation during the floral organ development of *Lonicera confuse*. *International Journal of Agricultural Biology*, 18, 509–514. <https://doi.org/10.17957/IjAB/15.0116> [in English].
- Ye, J.Y., Tian, W.H., & Jin, C.W. (2022). Nitrogen in plants: from nutrition to the modulation of abiotic stress adaptation. *Stress Biology*, Vol. 2, № 4, 518–527 [in English].
- Xiao, C., Fang, Y., Wang, S., & He, K. (2023) The alleviation of ammonium toxicity in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, Vol. 65, 1362–1368. <https://doi.org/10.1111/jipb.13467> [in English].

Отримано: 24.07.2024  
Прийнято: 10.09.2024



## ЕКОЛОГІЯ

UDC 637/638.631/635

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.30>

### PECULIARITIES OF BEE PROTEIN PRODUCTION AND INTENSITY OF ITS CONTAMINATION WITH $^{137}\text{CS}$ AND $^{90}\text{SR}$ IN THE CONDITIONS OF HONEY-GROWING LANDS OF THE FOREST-STEPPE AND POLISSYA

H. V. Hutsol<sup>1</sup>, O. V. Mazur<sup>2</sup>

*One of the priority areas of social development in Ukraine is to provide the population with high-quality and safe food raw materials, among which bee products containing a number of biologically active substances, namely vitamins, carbohydrates, amino acids, minerals, flavonoids, melanins, etc. are in high demand. Most of these substances have highly nutritional therapeutic and prophylactic properties, including immunostimulating, radioprotective, antioxidant, sorption, etc. These properties of bee products provide a wide range of uses in public nutrition and medical practice for therapeutic purposes.*

*It is known that the quality and safety of bee protein products depend on the ecological condition of honey-growing lands. Their current state in some areas of Ukraine has been subjected to anthropogenic contamination, in particular with  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  radionuclides as a result of the Chernobyl accident, which has led to a decrease in their quality, production efficiency, and reduced demand and use.*

*It has been established that among bee products produced in the areas of honey-bearing lands contaminated with  $^{137}\text{Cs}$  (1–5 Ci/km<sup>2</sup>) and above, flower pollen and beehive have a several times higher intensity of contamination compared to honey and wax. At the same time, the permissible level of radionuclides in bee pollen and feathers produced on these honey-growing areas was found to be exceeded.*

*Taking into account the requirements for permissible levels of radionuclides in beekeeping products under the 2006 State Standard, which have significantly increased compared to the 1991 State Standard due to a 3-fold decrease in specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in bee nuc, pergola, and drone larvae homogenate, respectively, there is a need to study the intensity of contamination of these products and develop ways to improve their quality.*

*The need for such studies is due to the social task of reducing the level of radiation pressure on the population.*

**Key words:** honey lands, beekeeping, propolis, contamination, bee pollen, protein products.

<sup>1</sup> PhD in Agriculture, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Ecology and Environmental Protection

(Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia)

e-mail: [gucolg@ukr.net](mailto:gucolg@ukr.net)

ORCID: 0000-0001-6327-6555

<sup>2</sup> Assistant at the Department of Ecology and Environmental Protection

(Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia)

e-mail: [mad12olya@gmail.com](mailto:mad12olya@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-1763-7548

## ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА БІЛКОВОЇ ПРОДУКЦІЇ БДЖІЛЬНИЦТВА ТА ІНТЕНСИВНІСТЬ ЗАБРУДНЕННЯ ЇЇ $^{137}\text{Cs}$ І $^{90}\text{Sr}$ В УМОВАХ МЕДОНОСНИХ УГІДЬ ЛІСОСТЕПУ ТА ПОЛІССЯ

Г. В. Гуцол, О. В. Мазур

Одним із пріоритетних напрямків соціального розвитку України є забезпечення населення високоякісною та безпечною продовольчою сировиною, серед якої високим попитом користується продукція бджільництва, яка містить ряд біологічно активних речовин, а саме вітаміни, вуглеводи, амінокислоти, мінеральні речовини, флавоноїди, меланінів та ін. Переважна частина цих речовин мають високопоживні лікувально-профілактичні властивості, зокрема, імуностимулюючі, радіопротекторні, антиоксидантні, сорбційні та ін. Дані властивості продукції бджільництва забезпечують обумовлений широкий спектр використання її в харчуванні населення та медичній практиці з лікувальною метою.

Відомо, що якість та безпека білкової продукції бджільництва залежать від екологічного стану медоносних угідь. Їх нинішній стан на деяких територіях України зазнав антропогенного забруднення, зокрема радіонуклідами  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, що спричинило зниження її якості, ефективності самого виробництва зменшення попиту і використання.

Встановлено, що серед продукції бджільництва, виробленої на забруднених  $^{137}\text{Cs}$  (1–5 Кі/км<sup>2</sup>) і вище територіях медоносних угідь, квітковий пилок та перга має вищу у декілька разів порівняно з медом та воском, інтенсивність забруднення. Разом із тим виявлено перевищення допустимого рівня радіонуклідів у бджолиному обніжжі та перзі, вироблених на вказаних медоносних угіддях.

Зважаючи на вимоги допустимих рівнів радіонуклідів у продукції бджільництва за ДР-2006, які значно підвищились порівняно з ДР-1991, унаслідок зниження питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  у бджолиному обніжжі, перзі, гомогенаті трутневих личинок у 3 рази відповідно, виникає потреба у вивченні інтенсивності забруднення вказаної продукції та розробці шляхів підвищення її якості. Необхідність таких досліджень обумовлено соціальним завданням знизити рівень радіаційного пресингу на населення.

**Ключові слова:** медоносні угіддя, бджільництво, прополіс, забруднення, бджолине обніжжя, білкова продукція.

### Introduction

Ukraine is one of the world's leading countries with a well-developed beekeeping industry. Over the past 10–15 years, the growth in the number of bee colonies has been driven mainly by the private sector, with 87% of families now keeping bees. According to the Ministry of Statistics of Ukraine, there are currently up to 5.5 million bee colonies in all categories of farms.

The economic importance of beekeeping is determined by providing the population with products such as honey, wax, propolis, bee pollen, feather, royal jelly, bee venom, homogenate, and waste products such as dead bees and bee droppings. Of equal importance is the pollination of crops by bees, which is responsible for 1/3 of the green flora on our planet.

Ukraine is one of the world's five largest honey producers. Annual honey production at apiaries of all categories of farms ranges from 40 to 60 thousand tonnes. Wax production has reached 1.2–1.4 thousand tonnes per year.

Ukraine's forage resources allow it to produce at least 100 thousand tonnes of honey and 1.5–2.0 thousand tonnes of wax.

The production of additional beekeeping products, such as propolis, pollen, royal jelly, drone homogenate, bee venom, which are raw materials for the manufacture of valuable medicinal medicines and food products. However, production of these products is declining due to the lack of a market for them (Butynets, 2005).

Honey is a valuable energy food product with medicinal and dietary properties. It is widely used in the diet of the population for medicinal purposes.

Wax is a raw material for nearly 40 industries, including automotive, electronics, aviation, metallurgy, chemicals, and others. It is used in textile production, paper making, medicine and perfumery.

Due to its antimicrobial effect, propolis is used in medicine to treat wounds, inflammatory and burn processes. Propolis is also widely used in the treatment of infectious diseases.

Bee pollen is used in the food industry. antimicrobial effect, stimulates the body's immune system, and is used for cardiovascular diseases of the stomach and kidneys. In terms of nutritional value, pollen is superior

to protein products of plant and animal origin due to the content of amino acids, vitamins, enzymes and is easily absorbed by the human body.

Royal jelly contains enzymes, amino acids, lipids, carbohydrates and other compounds. It strengthens the body, stimulates the cardiovascular and nervous systems and is a raw material for the manufacture of immunostimulant drugs.

Bee venom is recommended for radiculitis, neuralgia, and vascular diseases.

Protein products, in particular bee pollen and feathers, are the main source of food for bees. Protein feed provides bees with amino acids, fat, vitamins, minerals, sugars and other vital biologically active substances. Insufficient supply of protein feed to bee colonies has a negative impact on their development and productivity. It is known that one bee family consumes up to 20 kg of protein feed per season. The excess of the bee colony's need for this feed is used as a marketable product. If bee colonies are sufficiently supplied with honey and pollen plants, an average of 3–4 kg of marketable products can be obtained. The amount of protein feed (bee pollen and pergas) obtained depends on many factors, including the strength of the bee family, the capacity of the honey base, the period and duration of flowering of honey plants, natural and climatic conditions, etc.

In recent years, the apitherapy, food and pharmaceutical industries have begun to use a new non-traditional bee product – a homogenate made from drone larvae. It has antioxidant, immune-modulating, and anti-tumour effects. It further expands the range of applications of bee products as biologically active additives. They are part of apiphytic compositions based on apiary products and medicinal plant materials.

Recently, wax moth preparations have been used for therapeutic purposes, as their immunostimulating and antibacterial properties are superior to chemical and pharmaceuticals (Korbut, 2013).

Beekeeping wastes, in particular, bee slaughter, are widely used in the national economy. It has been proven that substances such as melanin, heparin, and flavonoids isolated from this raw material have high radioprotective, immunostimulating, and sorption properties. Therefore, this raw material is successfully used in foreign countries for the disposal of nuclear waste and for the manufacture of radioprotectors.

Based on these bee products, a new area of medicine has emerged – apitherapy – which aims to study, manufacture and use new medicines using apiary products (Plakhtiy, 2002).

As pollinators, bees are of great benefit to crop production. They pollinate up to 85–90% of entomophilous plants. Bee pollination helps to increase crop yields by 30–60%.

It is difficult to overestimate the environmental importance of beekeeping. Visiting agricultural crops and wild plants, bees ensure their cross-pollination and thus contribute to the pollination of forest, field, garden and meadow entomophilous vegetation. This helps to ensure that plants regenerate.

#### **Material and methods**

The study of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  contamination of flower pollen and its processing products (bee pollen, perga and drone larvae homogenate) under conditions of technogenic contamination of honey lands and the impact of agrotechnical measures on the quality of these products was carried out in 2022–2023 in the conditions of honey lands of the Forest-Steppe and Polissya.

The specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in the experimental material was determined in the laboratory of the testing centre of the Vinnytsia branch of the State Institution “Institute of Soil Fertility Protection of Ukraine”.

The monitoring of radionuclide contamination of bee protein products was carried out from the main agricultural and forest park honey plants. The pollen from these honey plants was used as a raw material for the production of bee protein products, such as bee pollen, pergas and drone larvae homogenate.

Generally accepted methods in ecology and beekeeping were used to monitor  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  contamination of protein products.

Soil sampling for radiological studies was carried out using the envelope method at the depth of ploughing.

Four soil samples were taken from each field and sent to the laboratory in plastic bags with labels indicating the number of the original sample, field number, name of the material under study and the place of sampling.

Mineral fertilisers were applied as follows: For corn – nitrogen (ammonium nitrate) in autumn for ploughing and spring cultivation (70%), the rest was used for fertilisation during the growing season at the rate of 100 kg/ha, phosphorus and potash fertilisers were applied in autumn for ploughing, phosphate (simple superphosphate) – 150 kg/ha, potassium (potassium chloride) – 240 kg/ha, for buckwheat – potassium chloride at the rate

of 60 kg/ha and for winter rape – potassium chloride at the rate of 90 kg/ha.

The technology of obtaining drone larvae homogenate was carried out according to the method described by (Polishchuk, 2001) which included: preparation of bee colonies, increasing their capacity for rearing drone larvae, selection of drone larvae and their processing (Yarosh, 2005).

The main technological operation in the preparation of bee colonies for the production of drone larvae is the increase of the family strength, which includes the expansion of bee nests.

The following methods were used during the research: field (cultivation of agricultural honey plants, sampling of soils, plants and pollen); radiological (specific activity of <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr in protein products of beekeeping);

zootechnical (identification of bee breeds, formation of bee colonies based on the principle of analogue groups, accounting of feed stocks, development of bee colonies, their winter hardiness); statistical (mathematical processing of research results); analytical (literature review, generalisation of results and industrial testing) (Polishchuk, 2001; Razanov et al., 2010).

### Results

The results of the research on the capacity of the honey base showed that in the conditions of the honey-growing lands of the Forest-Steppe, during the entire active season, 32.7% more commercial bee pollen was produced than in Polissya (Table 1).

On average, during the beekeeping season in the conditions of the studied honey lands of the Forest-Steppe, one bee family produced 2.38 kg of bee pollen, while in Polissya – 1.47 kg.

Table 1

Production of polyfloral bee pollen, kg (n=10)

The number of the bee colony	Honey plants		
	spring	summer	autumn
28	2,3	0,7	-
15	1,2	1,1	-
10	2,5	0,5	-
11	1,4	1,0	-
23	1,8	0,4	-
7	2,0	0,8	-
15	2,7	1,0	-
42	1,1	0,7	-
7	1,3	0,6	-
23	1,3	1,1	-
41	2,8	0,5	-
25	1,4	0,6	-
20	2,9	0,5	-
11	1,6	0,6	-
14	2,7	0,8	-
10	1,2	0,6	-
19	2,6	0,9	-
9	1,7	1,2	-
17	2,2	1,0	-
5	1,8	0,6	-
Total	23,8	7,1	-
	14,7	8,6	-

Note: hereinafter \*Numerator – Forest-Steppe; \*Denominator – Polissya



In the Forest-Steppe, 77.0% of commercial bee pollen is obtained from spring honey plants, 23.0% – from summer ones. In Polissya, 63.0% of commercial bee pollen is produced from spring honey plants and 37.0% from summer ones.

Comparing the amount of produced bee pollen by harvesting periods during the active bee season, it should be noted that in the Forest-Steppe area, compared to Polissya, 61.9% more was produced from spring honey plants, and 17.5% less from summer ones.

The amount of produced perge in the conditions of honey lands of the Forest-Steppe was 52.6 % higher compared to the production of similar products in Polissya (Table 2).

On average, over the entire period of the active season, 2.99 kg of bee colony per bee family was produced in the Forest-Steppe, and 1.96 kg in Polissya.

In the conditions of the honey-bearing lands of the Forest-Steppe, 59.0% of the

pergas were obtained from spring honey plants, 25.7% – from summer and 15.3% – from autumn. At the same time, in Polissya 68.4% of the perg was produced from spring honey plants and 31.6% from summer ones. It should also be noted that in the conditions of honey-bearing lands of the Forest-Steppe, 31.3% more pergas were produced from spring honey plants and 24.2% more from summer ones compared to the territory of Polissya. From autumn honey plants in the conditions of honey-bearing lands of the Forest-Steppe 15.4% of pergas were obtained, while in Polissya such possibility of obtaining marketable products is absent.

The analysis of the production of drone larvae homogenate showed that in the conditions of the honey lands of the Forest-Steppe it was obtained by 35.1% more compared to the territory of Polissya (Table 3).

On average, 328.3 g of drone larvae homogenate was produced per bee family per

Table 2

Production of pergola, kg (n=10)

The number of the bee colony	Honey plants		
	spring	summer	autumn
21	2,1	1,1	–
17	1,2	0,7	–
52	1,7	0,8	1,1
4	1,3	0,4	–
37	1,8	0,5	–
3	1,1	–	–
54	1,7	0,4	0,8
16	1,4	0,5	–
18	2,0	0,5	0,5
31	1,5	1,1	–
9	2,1	0,7	0,4
33	1,6	0,5	–
11	1,3	1,1	0,5
37	2,1	0,9	–
25	1,2	–	–
27	1,3	0,7	–
57	1,4	1,1	–
29	1,1	0,6	–
8	2,3	1,5	1,3
41	0,8	0,8	–
Total	17,6	7,7	4,6
	13,4	6,2	0

Table 3

Production of drone larvae homogenate, kg (n=10)

The number of the bee colony	Медоноси		
	spring	summer	autumn
61	absent	0,277	absent
51		0,170	
62	- // -	0,235	- // -
55		0,230	
66	- // -	0,250	- // -
79		0,340	
67	- // -	0,273	- // -
77		0,280	
93	- // -	0,320	- // -
88		0,310	
94	- // -	0,340	- // -
84		0,270	
95	- // -	450	- // -
63		310	
97	- // -	0,400	- // -
66		0,270	
77	- // -	0,288	- // -
1		0,300	
78	- // -	0,450	- // -
72		0,150	
Total		3,283	
		2,430	

season in the Forest-Steppe, and 243 g in Polissya.

A more favourable period for the production of drone larvae homogenate, both in the Forest-Steppe and Polissya, was during the flowering of summer honey plants.

The analysis of protein production for the entire season showed that on average, one bee family in the Forest-Steppe produced 32.6% more bee pollen, 29.1% more per bee family and 35.0% more drone larvae homogenate than in Polissya.

The technology for producing bee pollen involves selecting a portion of bee pollen using a pollen trap over a period of time. Some of the flight bees with pollen stay longer near the hives in the area of the working grid, and their injuries can be observed. As a rule, the reaction of bees to a decrease in the supply of pollen to the nests may be accompanied by a decrease in the intensity of brood rearing,

which slows down their development and production of marketable products.

In the case of perg production, there is no decrease in the supply of pollen to the nests, and its removal in preserved form is carried out after the end of flowering of the respective types of pollen stalks and sufficient accumulation of this feed in the nest. In this regard, it can be assumed that the production of commercial pergue may have a lesser impact on the development of bee colonies compared to the selection of bee pollen.

The obtained results of the research on the impact of the selection of perg on the development of bee colonies showed that the families from which this product was selected raised more brood than their counterparts involved in the production of bee pollen (Table 4).

In particular, in the Forest-Steppe area, bee colonies from which pergue was produced

Table 4

Development of bee colonies after production of commercial protein products (M±m, n=5)

Group of bee colonies	Area.	Type of products manufactured	Bee family number	Brood size, cm <sup>2</sup>			Total for the reporting period
				03.08.12	15.08.12	27.08.12	
I	Forest-steppe	Bee pollen	17	7275	8375	6325	21975
			23	7929	8457	6015	22401
			41	7132	8112	5935	21179
			15	6991	7830	6017	20838
			6	6829	7970	6222	21021
On average for the group				7231±118,9	8148±118,5	6102±73,0	21482±300,5
II		Perga	8	8215	9250	7825	25290
			21	8321	9371	7305	24997
			37	7734	9218	6925	23881
			18	7892	8791	7820	24503
	27		8022	9305	7301	24628	
On average for the group			8036±106,1	9187±102,3	7435±172,5	24659,4±239,0***	
I	Polissya	Bee pollen	7	6234	5157	4230	15621
			23	5230	3232	2750	11212
			11	5170	3125	2135	10430
			10	6250	3075	1893	11218
			9	4390	4174	2320	10884
On average for the group				5454±353,9	3752±404,5	2665±415,4	11873±947,9
II		Perga	41	6230	5035	3720	14985
			37	6241	4831	2800	13872
			31	5250	3178	3150	11578
			3	5670	4032	3036	12738
	17		5320	4930	2920	13170	
On average for the group			5742±213,6	4401±353,4	3125±159,7	13268,6±568,3***	

reared 14.8% (p<0.001) more brood during the accounting period, and in Polissya the number of brood reared increased by 11.8% (p<0.001).

In the Forest-Steppe area, bee colonies from which bee pollen was taken reared 9609 cm<sup>2</sup> or 80.9% more brood compared to Polissya. From the bee colonies involved in the production of commercial pergue, 11390.8 cm<sup>2</sup> or 46.3% more brood was obtained in the Forest-Steppe area than in the Polissya area.

Thus, the production of perg, provided that it is sufficiently accumulated in the nest of bee colonies, has a lesser impact on the intensity of brood rearing compared to the production of bee pollen.

According to the results of the research on the impact of the production of commercial protein products (bee pollen, perg) on the

winter hardiness of bee colonies, it was found that in the Forest-Steppe, bee colonies from which perg was harvested had a 0.8% lower winter mortality rate compared to the colonies involved in the production of bee pollen (Table 5).

The quality of the bee nest, which depends on the number of bee generations reared in the cells and is accompanied by the accumulation of indigestible residues of larval food and cocoons, also had a positive effect on reducing radionuclide contamination of the perg.

In particular, the specific activity of <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr in the pergium harvested by bees in combs with up to 5 bee generations was lower than in similar raw materials obtained from combs with 10 to 15 bee generations, by 7.1% and 4.2%, and 9.3 and 11.5%, respectively.

Table 5

Wintering condition of bee colonies ( $M \pm m$ ,  $n=5$ )

group	Ara	Type of products manufactured	Bee family number	Strength of bee colonies (number of hives, pcs.)		Bee flight in winter, %
				before wintering	after wintering	
I	Forest-steppe	Bee pollen	17	7,5	6,5	26,6
			23	6,0	5,5	8,3
			41	8,0	7,5	12,5
			15	7,5	7,0	6,7
			6	6,0	5,0	16,6
On average for the group				7,0±0,41	6,3±0,41	10,0±3,56
II		Perga	8	6,5	6,0	9,1
			21	8,0	7,0	12,5
			37	7,5	7,0	6,6
			18	7,5	6,5	13,3
	27		7,0	7,0	7,0	
On average for the group			7,3±0,25	6,7±0,19	9,1±1,38	
I	Polissya	Bee pollen	7	6,5	5,5	23,0
			23	5,5	4,5	18,2
			11	7,0	6,0	14,3
			10	7,5	6,0	33,3
			9	5,5	5,0	18,2
On average for the group				6,4±0,40	5,4±0,27	15,6±3,28
II		Perga	41	4,5	4,0	11,1
			37	8,0	7,5	6,2
			31	7,5	7,5	0
			3	6,5	4,5	31,0
	17		5,0	4,5	10,0	
On average for the group			6,3±0,68	5,6±0,78	11,1±5,2	

### Discussion

Summarising the results of the research in this subsection, it should be noted that the most attractive for the production of protein bee products is perg, the production of which has a less negative impact on the vital activity of bee families, in particular on development and winter hardiness.

The use of our improved technology for the production of pergas makes it possible to improve their quality.

As a result of the Chernobyl accident, radioactive contamination in some areas of Ukraine has created certain problems in agricultural production, including beekeeping.

The accident contaminated about 53.5 thousand km<sup>2</sup> of Ukraine's territory. The radioactive contamination also affected honey-growing areas, which are a source of flower pollen from which bees produce protein products, including bee pollen, bee royal jelly and other products. These products are widely

used by the population due to their nutritional and medicinal properties. The use of bee products in public nutrition and medical practice requires careful attention to their quality, which is subject to continuously increasing requirements. The data on permissible levels (2006) of specific activity of <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr in bee products, including protein products, have decreased three times compared to the 1991 levels. Therefore, the migration of radionuclides in the system soil → crop products → bee products requires constant monitoring.

The migration processes of radionuclides in the soil → plant → crop products system depend on many factors, including the type, level of moisture, intensity of contamination, soil acidity, presence of micro- and macroelements, plant species, etc.

When describing the literature data on the state of soils of honey-growing lands in the studied areas of the Forest-Steppe and Polissya, it is necessary to note some differ-

ences and peculiarities of their contamination with radioactive substances.

Thus, the honey-growing lands of Polissya are located mainly on sod-podzolic soils, the total area of which is up to 60%, the largest share of which is occupied by slightly and medium podzolic soils – up to 92%. The humus content in these soils is between 1.0 and 2.0%, and the soil pH is between 5 and 5.6. In addition, Polissia's honey-growing lands have sod-podzolic soils with a humus content of 0.9 to 1.9%, which are very poor in nitrogen, phosphorus, potassium and trace elements. These soils have a salt extract pH of 4.2 to 5.2. There is also a small amount of alkaline soils and soils of highland and surface bogs on the territory of Polissya honey lands. It should also be noted that 50% of the soils in Polissya's honey-growing areas are excessively moist. This type of soil is classified as low-fertility. Thus, the soils of Polissya's honey lands are characterised by low humus and trace elements with high acidity and moisture levels, which can be favourable conditions for increasing radionuclide translocation to plants and their products, in particular, pollen and products of its processing by bees.

The analysis of  $^{137}\text{Cs}$  contamination of soils of honey-bearing lands in the studied territories of Polissia showed an excess of permissible levels by 2.1 to 3.2 times. The specific activity of  $^{90}\text{Sr}$  in some soils of honey plants in the studied areas was 1.9 times lower than the permissible levels, and in some areas, on the contrary, it was up to 3.8 times higher. That is, there is a variation in the contamination of honey plants with radioactive substances in this area.

The honey-growing lands of the Forest-Steppe have grey forest soils, podzolised chernozems, typical chernozems and others, which have a higher humus content compared to Polissia. In particular, the humus content in chernozem can range from 3 and above, the

pH of the salt extract is from 4.8 to 6.8, and they have moderate moisture content.

In the studied soils of the Forest-Steppe, the specific activity of radionuclides was below the permissible levels, in particular,  $^{137}\text{Cs}$  from 2.8 to 5.5 times, and  $^{90}\text{Sr}$  from 16.6 to 24.5 times.

Thus, the literature shows that the soils in the studied areas of the honey-growing areas of the Forest-Steppe and Polissya have significant differences in terms of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  contamination, as well as chemical and physical properties, which may have a certain impact on the intensity of contamination of bee protein products.

When analysing the intensity of radionuclide contamination of honey lands in the studied areas, it should be noted that in Polissia, the specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in the soil of honey lands was 5.0 and 5.0 times higher than in the Forest-Steppe, respectively.

The soils of Polissya honey lands contained  $^{137}\text{Cs}$  5.0 Ci/km<sup>2</sup> and  $^{90}\text{Sr}$  0.05 Ci/km<sup>2</sup>, while in the Forest-Steppe zone – 1.0 Ci/km<sup>2</sup> and 0.01 Ci/km<sup>2</sup>, respectively.

The obtained results of studies on specific activity of radionuclides in the honeycomb also indicate a tendency to seasonality of its harvesting by bees and the level of contamination of honey plants (Table 6).

Thus, the specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  in the spring honey extracted in the Forest-Steppe was 3.8 % and 13.5 % lower, respectively, compared to similar raw materials obtained from pollen of summer and autumn honey plants. In Polissya, the specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  in spring honeybee pollen was 1.0% lower than in summer and 4.5% lower than in autumn.

The specific activity of  $^{90}\text{Sr}$  in the bee pollen from spring honey plants in the Forest-Steppe was 8.9 and 12.1% lower than in similar products obtained from summer and autumn honey plants, respectively.

The specific activity of  $^{90}\text{Sr}$  in the pollen obtained in Polissya from spring honey

Table 6

Specific activity of radionuclides in polyfloral wax, Bq/kg (M±m, n=4)

Production	$^{137}\text{Cs}$		$^{90}\text{Sr}$	
	Forest-steppe	Polissya	Forest-steppe	Polissya
The feathers of spring honey plants	7,7±0,108	153,8±0,091	0,51±0,009	10,3±0,147
The feathers of summer honey plants	8,0±0,091	155,3±0,129	0,56±0,009	12,3±0,129
The pergas of autumn honey plants	8,9±0,108	161,1±0,070	0,58±0,009	15,7±0,091

plants was lower than in similar raw materials obtained from summer honey plants by 16.3% and autumn honey plants by 34.4%.

A significant difference was found between the specific activity of radionuclides in the perga harvested from spring, summer and autumn honey plants in the Forest-Steppe and Polissya regions. The specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  in bees' pollen from summer honey plants in Polissya was 20.0 times higher, in summer – 19.4 times higher, in autumn – 18.1 times higher compared to similar products obtained from the honey plants of the Forest-Steppe. The specific activity of  $^{90}\text{Sr}$  in the bee-derived pollen produced in Polissya was 20.2, 21.9 and 27.1 times higher in spring, summer and autumn honey plants, respectively, compared to similar products produced in the Forest-Steppe. In other words, the specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in the honeycomb also depended on the intensity of soil contamination of honeybee lands.

The analysis of radionuclide contamination of pergia showed that the specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in this product harvested in Polissya was 45.6 times and 11.3 times higher, respectively, compared to similar products harvested in the Forest-Steppe.

At the same time, it should be noted that in the Forest-Steppe, the specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in the pepper was 9.3 and 89.3 times lower than the permissible levels (2006), respectively. In Polissya, the specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  was 4.9 times higher than the permissible levels, and  $^{90}\text{Sr}$ , on the contrary, was 7.9 times lower.

It was found that in the territory of the forest-steppe honey lands, the specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  compared to  $^{90}\text{Sr}$  was 38.4 times higher in pepper, and 154.8 times higher in Polissya. At the same time, it was found that an increase in the specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in soil by 8.4 and 8.6 times, respectively, was accompanied by an increase in radionuclides in pergium by 45.5 and 11.4 times, respectively.

The specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in drone larvae homogenate produced by bee colonies in Polissya was 14.7 and 4.1 times higher, respectively, compared to similar products from the Forest-Steppe area.

The specific activity of  $^{90}\text{Sr}$  in the pollen produced from the pollen of the Forest-Steppe honey plants was 10.0% higher than in the bee pollen and 5.5 times higher than in the drone larvae homogenate.

The specific activity of  $^{90}\text{Sr}$  in the perga produced on the territory of Polissya honey lands

was 19.9% higher compared to bee pollen and 20.2 times higher compared to drone larvae homogenate.

In other words, 26 years after the Chernobyl accident, only  $^{137}\text{Cs}$  was exceeded (in 2006) in bee pollen and bee feathers produced by bees in some honey-growing areas of Polissya, where this radionuclide exceeded 4 Ci/km<sup>2</sup> in soil. At the same time, it is necessary to note contamination of protein products with  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$ , depending on the level of contamination of honey lands with its type and type of radionuclides, and the period of harvesting.

In particular, an increase in the level of radionuclide contamination of honeybee soils leads to an increase in the intensity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  accumulation in bee pollen, pergia and drone larvae homogenate. The higher intensity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  contamination is characterised by protein products produced by bees from autumn honey plants, and the lower intensity – from spring ones. Among the protein products of beekeeping, the highest specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  was in the feathers, and the lowest was in the homogenate of drone larvae. The specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  was higher in bee leg, pergia and drone larvae homogenate compared to  $^{90}\text{Sr}$ .

### Conclusions

1. The specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  in bee protein products for the 26-year period after the Chernobyl accident exceeded the permissible standards (DR-2006) only in the territories of honey lands with the level of contamination with this isotope exceeding 4 Ci/km<sup>2</sup>.

2. Specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in bee pollen, pergium and drone larvae homogenate depended on the intensity of honey plantations contamination, type of products and period of their harvesting. The highest specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  was characterised by the feather, and the lowest – by the drone larvae homogenate. A relatively higher specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  was detected in bee pollen, feather and drone larvae homogenate during the flowering period of autumn honey plants, and a relatively lower activity in summer and spring honey plants.

3. Reducing the soil acidity of honey plants from 4.6 to 5.8 and from 6.6 to 7.7 reduced the accumulation coefficient in flower pollen of  $^{137}\text{Cs}$  by 42.8 % and 50 %,  $^{90}\text{Sr}$  by 16.6 and 50 %, respectively.

Recommendations. On the territories of honey-bearing lands with soil concentrations of  $^{137}\text{Cs}$  up to 1 Ci/km<sup>2</sup>, the production of bee

pollen, pergue and drone larvae homogenate can be carried out without restrictions.

Under conditions of soil contamination of honey-bearing lands with  $^{137}\text{Cs}$  in the range of 1–4 Ci/km<sup>2</sup>, bee pollen production should be carried out under radiological control and with the use of potassium chloride fertilisation and liming of acidic soils during the cultivation of agricultural honey plants.

Production of bee pollen, pergola and drone larvae homogenate under conditions of  $^{137}\text{Cs}$  contamination of honey lands above

4 Ci/km<sup>2</sup> should be carried out from pollen of tree honey plants (small-leaved and broad-leaved linden, white acacia, apple, pear and maple), with mandatory radiological control and use of these products for beekeeping needs, in particular for the production of bee feed.

To reduce  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  contamination of pergue in the technological processes of its production, an additional operation should be introduced, the essence of which is to remove the honey cover by drying the honeycomb by bees.

### Bibliography

Бачинський В.І., Куцик П.О., Медвідь Л.Г., Попітїч Т.В. Бухгалтерський облік (загальна теорія) : Навчальний посібник. Львів. 2010. С. 319.

Бутинець Ф.Ф. Бухгалтерський фінансовий облік : навчальний посібник 6-те вид., переробка та доп. Житомир : ПП «Рута», 2005. С. 756.

Іванова В.Д. Технологія виробництва продуктів бджільництва : курс лекцій. Миколаїв : МДАУ, 2009. С. 245.

Здирко Н.Г., Шульган М.Я. Розвиток галузі бджільництва в Україні: аналіз стану та тенденцій. *Агросвіт*. 2022. № 11–12. С. 21–28. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2022.11-12.21>.

Коваль О.В., Бурко К.В. Напрями удосконалення управлінського обліку в бджільництві. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2022. № 1 (59). С. 121–135.

Корбут О.В. Продукти бджільництва для здоров'я людей : науково-популярне видання. Київ, 2013. С. 192.

План рахунків бухгалтерського обліку. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.buhoblik.org.ua/uchet/organizacziya-buxgalterskogo-ucheta/388-plan-rahunkiv.html> (дата звернення 20.07.2024)

Плахтій П.Д. Продукти бджільництва в оздоровленні людини. Кам'янець-Подільський : «МЕДОБОРИ», 2002. С. 168.

Про бджільництво: Закон України від 22.02.2000 № 1492-III//Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws> (дата звернення 19.07.2024)

Поліщук В.П. Бджільництво: редакція журналу «Український пасічник». Львів, 2001. С. 296.

Разанов С.Ф., Безпалий І.Ф., Бала В.І., Донченко Т.А. Технологія виробництва продукції бджільництва. Навчальний підручник. Київ, 2010. С. 277.

Ярош Ю.М., Трусов Б.А. Технологія виробництва сільськогосподарської продукції: навчальний посібник для аграрних вищих навчальних закладів I-II рівнів акредитації. Київ, 2005. С. 524.

### References

Bachynskiy, V.I., Kutsik, P.O., Medvid, L.G., & Popitich, T.V. (2010). Bukhhalterskyi oblik (zahalna teoriia): navchalnyi posibnyk [Accounting (general theory): a study guide]. L'viv. nats. ekon. un-t im. V. Stefanyka [in Ukrainian].

Butynets, F.F. (2005). Bukhhalterskyi finansovyi oblik : navchalnyi posibnyk [Accounting and financial reporting]. Zhytomyr : PE «Ruta» [in Ukrainian].

Ivanova, V.D. (2009). Tekhnolohiia vyrobnytstva produktiv bdzhilnytstva : kurs lektzii [Technology of manufacturing of food and beverage products: a course of lectures]. Mykolaiv : MDAU [in Ukrainian].

Zdyrko, N.G., & Shulhan, M.Y. (2022). Rozvytok haluzi bdzhilnytstva v Ukraini: analiz stanu ta tendentsii [The development of the housing market in Ukraine: analysis of the situation and trends]. *Ahrosvit [Agroworld]*, 11 (12), 21–28. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2022.11-12.21> [in Ukrainian].

Koval, O.V., & Burko, K.V. (2022). Napriamy udoskonalennia upravlinskoho obliku v bdzhilnytstvi [Problems of upravlins'koho obliku in bdzhil'nytstvi]. *Ekonomika, finansy, menedzhment: aktual'ni problemy nauky ta praktyky [Economics, finance, management: current problems of science and prac-*

*tice*], 1 (59), 121–135. [Electronic resource] URL: <http://efm.vsau.org/en/particles/directions-of-improvement-of-management-accounting-in-beekeeping> (access date 19.07.2024) [in Ukrainian].

Korbut, O.V. (2013). *Produkty bdzhilnytstva dlia zdorovia liudei: naukovo-populiarne vydannia* [Healthcare products for the health of the population: scientific and practical information]. Kyiv [in Ukrainian].

Plan rakhunkiv bukhhaltenskoho obliku [Chart of accounts of the accounting department]. [Electronic resource] URL: <https://www.buhoblik.org.ua/uchet/organizacziya-buxgalterskogo-ucheta/388-plan-raxunkiv.html> (access date 20.07.2024) [in Ukrainian].

Plakhtiy, P.D. (2002). *Produkty bdzhilnytstva v ozdorovlenni liudyny* [Healthcare products for children]. Kam'yantets'-Podil'skyi : «MEDOVI ZBORY» [in Ukrainian].

Polishchuk, V.P. (2001). *Bdzhilnytstvo: redaktsiia zhurnalu «Ukrainskyi pasichnyk»* [Beekeeping: editor of the magazine “Ukrainian beekeeper”]. Lviv [in Ukrainian].

Pro bdzhilnytstvo: Zakon Ukrainy vid 22.02.2000 № 1492-III [The Law of Ukraine ‘On Business Ownership’]. [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws> (access date 19.07.2024) [in Ukrainian].

Razanov, S.F., Bezpaly, I.F., Bala, V.I., & Donchenko, T.A. (2010). *Tekhnolohiia vyrobnytstva produktsii bdzhilnytstva* [Technology of manufacturing of consumer goods]. Navchal'nyy posibnyk. Kyiv [in Ukrainian].

Yarosh, Y.M., & Trusov, B.A. (2005). *Tekhnolohiia vyrobnytstva silskohospodarskoi produktsii: navchalnyi posibnyk dlia ahrarnykh vyshchykh navchalnykh zakladiv I-II rivniv akredytatsii* [Technology of silicon-based manufacturing: a new tool for ahistorical and high quality manufacturing zakladiv I–II levels of accreditation]. Kyiv [in Ukrainian].

Отримано: 26.07.2024

Прийнято: 14.08.2024





УДК 504.4.054

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.31>

## ФАКТОРИ НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ОРГАНІЗМАХ РИБ

Н. М. Доленчук<sup>1</sup>

*Представлено характеристику основних властивостей важких металів, форм, джерел їх накопичення та впливу на організми риб. Визначено, що важкі метали мають як позитивний так і негативний (згубний) вплив на гідробіонтів. Останній характеризується погіршенням фізіологічних та біологічних показників життєдіяльності риб. Важкі метали чинять негативний вплив на здоров'я людей що споживають забруднену рибу, викликаючи отруєння, хвороби внутрішніх органів та нервової системи. Тому тема накопичення важких металів організмами риб є актуальною для наукового дослідження.*

*Показано, що важкі метали мають два джерела надходження у водні екосистеми: природні та антропогенні. Встановлено, що саме антропогенний вплив є масштабнішим та має більшу загрозу у перспективі, адже для сучасного світу є характерним стрімкий розвиток промисловості, енергетики та сільського господарства, які є основними забруднювачами екосистем. Охарактеризовано основні природні фактори впливу на накопичення важких металів організмами риб, серед яких виділено: температурний та водний режими, сезонність, фізико-хімічний склад води та фізико-біологічні особливості риб (вид, вік, харчування). Необхідно зазначити, що кожен з факторів чинить вплив на певний етап процесу накопичення, а найчастіше фактори діють у комплексі.*

*Відображена проблема підвищення температури води, як одного з головних факторів впливу на накопичення важких металів гідробіонтами. Зі збільшенням температури розчинність багатьох металів, таких як залізо та мідь, може збільшуватися, це пов'язано з підвищенням кінетичної енергії молекул, що сприяє кращому розчиненню металів у воді. Температура впливає на вміст важких металів кількома способами, змінюючи їх розчинність, мобільність, біодоступність та впливаючи на біологічні та хімічні процеси в організмах риб.*

*Зазначено, що для підтримання здоров'я риб важливо забезпечувати оптимальні концентрації необхідних важких металів, уникаючи їх токсичних рівнів. Це досягається через контроль забруднення водних середовищ, моніторинг рівнів металів у воді та кормах, а також через розуміння екологічних факторів, що впливають на біоаккумуляцію і біомагніфікацію важких металів.*

**Ключові слова:** важкі метали, аквакультура, гідробіонти, риби, водне екосередовище, фактори впливу.

<sup>1</sup> аспірантка

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

e-mail: [natasha.mosienko21@gmail.com](mailto:natasha.mosienko21@gmail.com)

ORCID: 0009-0009-1941-5007

## FACTORS OF ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN FISH ORGANISMS

N. M. Dolenchuk

*The description of the main properties of heavy metals, forms, sources of their accumulation and impact on fish organisms is presented. It was determined that heavy metals have both positive and negative (harmful) effects on hydrobionts. The latter is characterized by the deterioration of the physiological and biological indicators of the vital activity of fish. Heavy metals have a negative impact on the health of people who consume contaminated fish, causing poisoning, diseases of internal organs and the nervous system. Therefore, the topic of accumulation of heavy metals by fish organisms is relevant for scientific research.*

*It is shown that heavy metals have two sources of entry into aquatic ecosystems: natural and anthropogenic. It was established that it is the anthropogenic impact that is larger and has a greater threat in the future, because the modern world is characterized by the rapid development of industry, energy and agriculture, which are the main polluters of ecosystems. The main natural factors affecting the accumulation of heavy metals by fish organisms are characterized, among which the following are highlighted: temperature and water regimes, seasonality, physical and chemical composition of water and physical and biological characteristics of fish (species, age, nutrition). It should be noted that each of the factors affects a certain stage of the accumulation process, and most often the factors act in combination.*

*The problem of increasing water temperature is reflected as one of the main factors influencing the accumulation of heavy metals by hydrobionts. With increasing temperature, the solubility of many metals, such as iron and copper, can increase, this is due to an increase in the kinetic energy of molecules, which contributes to a better dissolution of metals in water. Temperature affects the content of heavy metals in several ways, changing their solubility, mobility, bioavailability and influencing biological and chemical processes in fish organisms.*

*It is noted that in order to maintain fish health, it is important to ensure optimal concentrations of the necessary heavy metals, avoiding their toxic levels. This is achieved through control of aquatic pollution, monitoring of metal levels in water and feed, and understanding of environmental factors affecting bioaccumulation and biomagnification of heavy metals.*

**Key words:** heavy metals, aquaculture, hydrobionts, fish, aquatic environment, influencing factors.

### Вступ

Сучасний стан водойм на вміст важких металів викликає серйозне занепокоєння на місцевому, національному та глобальному рівні. Індустріалізація, сільське господарство, міська забудова та інші антропогенні фактори призводять до підвищеного забруднення водойм важкими металами. Такі важкі метали як свинець, ртуть, кадмій, мідь, цинк та інші, можуть мати значний негативний вплив на гідробіонтів (водні організми). Цей вплив може бути різноманітним та стосуватися як фізіологічних, так і поведінкових аспектів їх життя. Надмірний вміст важких металів залишається проблемою, що потребує постійної уваги з боку науки, моніторингу та впровадження ефективних заходів для зниження рівнів забруднення та захисту водних екосистем, що і зумовлює актуальність теми дослідження.

### Матеріал і методи

Методи: аналіз, синтез, систематизація наукової інформації, власні лабораторні дослідження. Матеріалом для дослідження були нормативні документи, наукові публі-

кації, статистичні дані, результати власних досліджень, щодо характеристик, вмісту важких металів та їх впливу на аквасередовище.

### Результати та їх обговорення

Поточний стан водойм характеризується тим, що такі важкі метали, як свинець, ртуть, кадмій, мідь і цинк, присутні у багатьох водних екосистемах України та світу. Вони надходять до водойм через промислові викиди, сільськогосподарські стоки, побутові відходи та атмосферні опади. Рівень забруднення водойм важкими металами варіюється залежно від регіону. В Україні такими регіонами є Запорізька, Донецька, Луганська, Дніпропетровська області (Vdovenko, 2016). Це зумовлено високою концентрацією промислових підприємств та інтенсивною сільськогосподарською діяльністю. Забруднення водойм важкими металами є характерним і для Житомирської області, адже на її території розташовано 13 промислових підприємств та 22 комунальних підприємства, стічні води яких надходять до річок та водосховищ басейну річки Тетерів (Bordiug, 2014).

У регіоні розвинене сільське господарство, яке теж є джерелом забруднення водою важкими металами. За останні роки кількість скинутих умовно чистих без очищення зворотних вод збільшилася. Комунальне підприємство Житомира неодноразово скидало не очищені стоки з каналізаційної насосної станції (Bordiug, 2014).

Важкі метали, що потрапляють у воду із забруднюючих джерел, негативно впливають на гідробіотів (водних організмів), включаючи рибу, молюсків, ракоподібних та інші види, порушують харчові ланцюги та біорізноманіття водою. Риба може накопичувати важкі метали з навколишнього середовища, найчастіше з промислових викидів (надходять майже всі важкі метали). Середнє значення важких металів у воді річки Тетерів представлено на рис. 1.

У період з 2021 по 2024 роки спостерігається значне перевищення середнього значення, порівняно з ГДК, Заліза (майже в 10 разів) і Свинцю (в 3,5 рази), також Марганцю (в 2,5 рази). Кадмій і Цинк майже в межах норми, мають незначне перевищення (на 0,002 та 0,007 відповідно). У воді Залізо (Fe) найчастіше присутнє у розчиненій формі, або у формі нерозчинної сполуки, наприклад, оксиду або гідроксиду заліза. Ці частинки осідають у вигляді осаду або плавають у зва-

женому стані. У рибі залізо накопичується переважно у вигляді гемового заліза, яке міститься в гемоглобіні риб. Джерелом забруднення вод залізом є вивітрювання гірських порід, викиди хімічної промисловості, яка забруднює воду сульфатами заліза, сільське господарство, через залізовмісні добрива та скидання стічних вод. Свинець (Pb) накопичується у воді та рибі у формі іонів свинцю. Джерелом є автомобільні вихлопи, старі труби. Риби, що мешкають в забруднених водах накопичують свинець у своїх тканинах. Марганець (Mn) накопичується у воді і рибі у розчинній та нерозчинній (оксид марганцю) формах. Джерелом забруднення води є побутові та промислові стічні води, добрива та пестициди, які можуть містити марганець. Кадмій (Cd) накопичується у воді та рибі у формі іонів кадмію. Джерелом є стічні води та добрива, що потрапляють у водойми з сільськогосподарських полів під час танення снігів. Високий рівень накопичення визначається в рибах, що мешкають біля промислових та сільськогосподарських об'єктів. Цинк (Zn) накопичується у формі іонів цинку. Джерелами потрапляння у водойми є промислові викиди, корозія цинкових поверхонь, сільськогосподарські добрива. Широко поширений у різних видах риб, особливо в забруднених водах.



Рис. 1. Середнє значення важких металів у воді річки Тетерів за 2021–2024 рр.  
Джерело: власні дослідження.

Важкі метали в рибі можуть мати як негативний, так і, в деяких випадках, позитивний вплив. Хоча більшість важких металів є токсичними навіть у низьких концентраціях, деякі з них у малих кількостях необхідні для нормального функціонування організмів риби. Кожен важкий метал має власну міру біологічної необхідності та токсичності для риби. Гемове залізо є складовим елементом гемоглобіну та міоглобіну риби, але у високій концентрації залізо може бути токсичним для риби, особливо в умовах низького вмісту кисню (анаеробних умовах). Це може призвести до порушень обміну речовин і порушення нормального функціонування організму риби. Марганець (Mn) входить до складу ферментів, що беруть участь у метаболізмі вуглеводів, білків і ліпідів. Він важливий для процесів росту і розвитку, а також для кісткової системи риби. Цинк (Zn) є важливим мікроелементом, необхідним для функціонування понад 300 ферментів, включаючи ті, що відповідають за синтез білків, метаболізм ДНК і РНК, а також антиоксидантні системи. Цинк важливий для зростання, розвитку та імунної функції риби.

Виділяється група важких металів які є високотоксичними і шкідливими для організмів риби: ртуть (Hg) є високотоксичним металом, особливо в органічній формі (метилртуть), яка легко абсорбується та біоакмулюється в організмі риби, викликає неврологічні порушення, репродуктивні проблеми та порушення функцій внутрішніх органів; свинець (Pb) впливає на нервову систему, розвиток скелета і гематологічні показники риби, викликає репродуктивні проблеми та підвищену смертність; кадмій (Cd) може накопичуватися в нирках, печінці та зябрах риби та викликати ниркові та печінкові захворювання, порушення репродуктивної функції та зниження імунітету (Ali, 2022).

Для підтримання здоров'я риби важливо забезпечувати оптимальні концентрації необхідних важких металів, уникаючи їх токсичних рівнів. Це досягається через контроль забруднення водних середовищ, моніторинг рівнів металів у воді та кормах, а також через розуміння екологічних факторів, що впливають на біоаккумуляцію і біомагніфікацію важких металів. Забезпечення балансу між цими двома аспектами є ключовим для підтримання здоров'я водних екосистем та риб'ячих популяцій. Біоаккумуляція – це процес накопичення токсичних речовин в організмах швидше, ніж вони виводяться (Lucas et al., 2016; Dyudyaeva et al., 2020). Важкі метали можуть накопичуватися в тканинах риби протягом усього їхнього життя. Біомагніфікація – це процес підвищення концентрації токсичних речовин по харчовому ланцюгу (Lucas et al., 2016; Dyudyaeva et al., 2020).

Усі фактори, що впливають на рівень накопичення важких металів рибами, можна поділити на природні та антропогенні (рис. 2). До природних факторів відносяться: геологічна будова регіону, гідрологічні та кліматичні умови (Nadtochiy, 2008).

Природні відкладення металів у ґрунтах і породах можуть потрапляти у воду через процеси ерозії, вивітрювання гірських порід та розчинення мінералів. Дощі та сніготанення можуть призводити до змиву важких металів із ґрунтів і їх потрапляння у водойми. Важливим фактором є склад і властивості води, такі як рН, окисно-відновний потенціал, вміст органічних речовин і мікроелементів, що впливають на розчинність і мобільність важких металів у воді (Maksymova, 2020). До природних факторів, що впливають на накопичення металів в організмах риби відносяться фізико-біологічні характеристики: вид, вік, фізіологічні характеристики, харчування та місце про-



Рис. 2. Фактори забруднення важкими металами природного середовища

живання риб. Старіші риби можуть мати вищі концентрації металів через тривалий період накопичення, риби що харчуються в зонах з високим рівнем забруднення накопичують більше металів, особливо в промислово забруднених водах (Lyuta, 2023).

До основних антропогенних факторів відносяться: промислові викиди, сільське господарство, енергетика, транспорт, комунальні стічні забруднення та техногенні аварії. Металургійні, хімічні та інші промислові підприємства часто викидають у воду стічні відходи, що містять важкі метали, а використання у сільському господарстві пестицидів, гербіцидів і добрив, які містять важкі метали, може призводити до їх потрапляння у водойми через стоки з полів, особливо під час танення снігів. Рудники та шахти, а також відвали порід можуть бути джерелами важких металів, що потрапляють у воду через ерозійні процеси. Спалювання викопного палива (вугільні ТЕС) може призводити до виділення важких металів, які потрапляють у атмосферу, а потім у ґрунт та воду через опади. Небезпечними є техногенні витоки і розливи під час транспортування і зберігання металів та їх сполук. Стоки з міських територій, включаючи побутові та дощові стоки, можуть містити важкі метали від автотранспорту, будівництва та інших міських джерел. У кожному регіоні мають свій переважний вплив антропогенні чи природні фактори, однак, зважаючи на стрімкий розвиток промисловості, особливо хімічної, можна стверджувати про посилення саме антропогенного впливу на водні екосистеми.

Важливими факторами вмісту важких металів у воді і гідробіонтах є фактори сезонних змін. До них відносяться: біологічні процеси, стан екосистеми, зміни температури і гідрологічного режиму протягом року, які впливають на концентрації важких металів у воді, а як наслідок і у рибі. Стан і структура водних екосистем, включаючи видове різноманіття і біомасу організмів, можуть впливати на концентрацію і розподіл важких металів у водоймах. Деякі організми (наприклад, бактерії та водорості) можуть впливати на мобільність і трансформацію важких металів у водному середовищі (Ali, 2022).

Одним з вагомих факторів, що впливають на концентрацію важких металів у водних екосистемах є температура води. Вона впливає на вміст важких металів кількома способами, змінюючи їх розчинність,

мобільність, біодоступність та впливаючи на біологічні та хімічні процеси. Зі збільшенням температури розчинність багатьох металів може збільшуватися, це пов'язано з підвищенням кінетичної енергії молекул, що сприяє кращому розчиненню металів у воді (Hnativ, 2023). Температура впливає на швидкість хімічних реакцій, включаючи реакції окиснення та відновлення, які визначають форму та рухливість металів. Вищі температури можуть прискорювати ці реакції, змінюючи концентрацію та хімічний стан металів, також, вища температура може збільшувати метаболічні процеси у водних організмів, що може впливати на пришвидшення поглинання та накопичення металів (Maksymova, 2020). Активність бактерій та інших мікроорганізмів, які беруть участь у біогеохімічних циклах металів, змінюючи їхню мобільність та токсичність також знаходяться під впливом температури, так деякі бактерії можуть окиснювати чи відновлювати метали, змінюючи їхню форму та біодоступність.

Температура впливає на стратифікацію водних мас у водоймах: у теплих умовах поверхневі шари води можуть бути більш насичені киснем і менш насичені металами, тоді як у глибших, холодніших шарах можуть накопичуватися метали через процеси седиментації (Maksymova, 2020). Зміни температури можуть впливати на конвекційні потоки та перемішування води, що впливає на розподіл металів у водоймах, у теплі літні місяці інтенсивне перемішування сприяє рівномірному розподілу металів у водній товщі. Температура впливає на рН та окисно-відновний потенціал (ORP) води, що, в свою чергу, впливає на форму та токсичність металів (Lyuta, 2023). Підвищення температури може змінювати рівні розчиненого кисню, впливаючи на окиснення металів. Сезонні зміни температури впливають на концентрації металів у воді. Взимку нижчі температури можуть сприяти осадженню металів на дно, тоді як влітку підвищена температура може сприяти їх розчиненню та підйому в поверхневі шари води.

Середня концентрація металів у рибі (карасі сріблястому) за літні та зимові періоди 2021–2024 рр. представлена на рис. 3.

За досліджуваний період концентрація заліза, кадмія і цинку в рибі була в межах ГДК. Концентрація свинцю і марганцю перевищувала ГДК в літній період (на 0,18 та 0,22 відповідно). Спостерігається

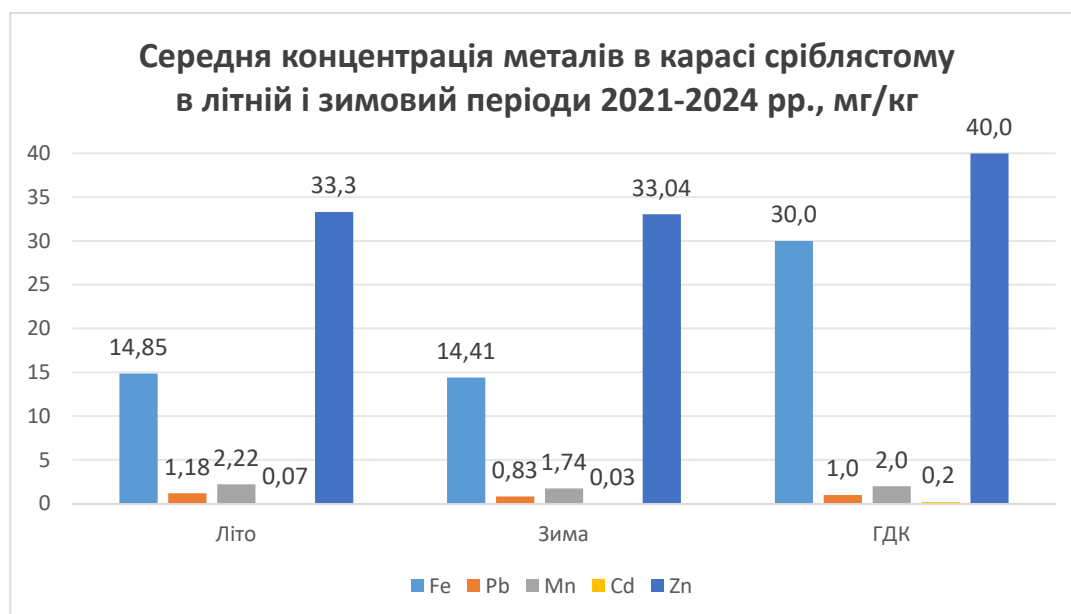


Рис. 3. Середня концентрація металів у рибі (карасі сріблястому) за літні та зимові періоди 2021–2024 рр.

Джерело: власні дослідження.

підвищення концентрації металів в рибі у літній період порівняно з зимовими показниками.

Важливим фактором впливу на концентрацію важких металів у воді є гідрологічний режим, який відіграє важливу роль у визначенні вмісту важких металів у рибі. Він включає в себе аспекти, пов'язані з рухом, об'ємом і станом води у водних екосистемах, такі як течії, рівні води, температурні коливання, сезонні зміни та інше (Ali, 2022). Сезонні зміни рівня води, такі як весняний паводок, або посушливі періоди, суттєво впливають на рівень концентрації забруднення вод важкими металами. Під час паводків рівень води підвищується, що може призводити до змиву забруднювачів, включаючи важкі метали, з берегів та ґрунтів у воду. Це може тимчасово підвищити концентрації металів у водоймі, що впливає на рівень їх накопичення у рибі. Під час посухи зменшення об'єму води може призводити до збільшення концентрації важких металів у воді, що також впливає на їх біодоступність для риб. Рух води (течії та турбулентність) також суттєво впливає на розподіл важких металів у воді. Течії можуть розбавляти концентрації металів або, навпаки, накопичувати їх у певних ділянках водойм. У стоячих водах (озерах, ставках) важкі метали можуть осідати на дно, де вони

можуть бути менш доступними для риб. Однак при певних умовах, таких як зміни в рН або окисно-відновному потенціалі, ці метали можуть знову підніматися у водний стовп і ставати доступними для риб (Nadtochiy, 2008). Температура і рух води впливають і на рівень розчиненого кисню, який, у свою чергу, впливає на метаболічні процеси у риб та їх здатність до накопичення важких металів. Від стану та руху води залежить розвиток фітопланктону та зоопланктону, які можуть поглинати важкі метали, а риби які харчуються планктоном, можуть накопичувати метали через харчовий ланцюг (Lyuta, 2023). Таким чином, температурний та гідрологічний режими мають значний вплив на вміст важких металів у рибі, через зміни у розподілі, біодоступності та метаболізмі металів у водному середовищі.

Для запобігання забруднення вод важкими металами та захисту гідробіонтів від їх згубного впливу, важливо контролювати рівні важких металів у водних екосистемах та впроваджувати заходи з очищення та запобігання забрудненню. Вирішення проблеми забруднення водойм важкими металами потребує міжнародного співробітництва та обміну інформацією між країнами. Міжнародні організації, такі як ООН та ВООЗ, активно працюють над розробкою стратегій та стандартів для захисту водних

ресурсів. Багато європейських країн впроваджують програми моніторингу та регулювання рівнів важких металів у водоймах (Копоненко, 2016). Ці програми включають встановлення гранично допустимих концентрацій важких металів, регулярне тестування води та осадів, а також впровадження очисних технологій. Сучасні технології очищення води дозволяють знизити рівні важких металів у водоймах. Зараз використовуються методи адсорбції, коагуляції, флокуляції, мембранні технології та біоремедіація (використання живих організмів для очищення води) для очищення води. Важливим аспектом у боротьбі з цим явищем є підвищення обізнаності населення про проблему забруднення водойм важкими металами (Poplavskaya, 2020). Освітні програми та кампанії сприяють кращому розумінню та зменшенню негативного впливу. Щодо споживання рибної продукції, важливим є встановлення нормативів допустимих рівнів важких металів у рибній продукції, здійснення контролю за дотриманням цих нормативів. Інформування та рекомендації споживачів щодо вживання риби, зважаючи на можливий вміст важких металів та пропагування споживання видів риби, які менш схильні до накопичення важких металів є дуже дієвим методом впливу на зниження ризиків для здоров'я людини.

## Висновки

З'ясовано, що водні екосистеми можуть забруднюватися важкими металами як через природні, так і антропогенні джерела. Антропогенні джерела важких металів значно переважають природні джерела як за обсягом, так і за інтенсивністю викидів. Інтенсивна промислова діяльність, сільське господарство, міська інфраструктура та енергетика значно збільшили вміст важких металів у довкіллі, що підвищує ризики для мешканців водойм і здоров'я людини. Зазначено, що важкі метали у воді безпосередньо впливають на накопичення їх у рибі через різні механізми біоаккумуляції та біомагніфікації. Ці процеси визначають, як метали з водного середовища переходять у рибу і накопичуються у її тканинах. Серед факторів що впливають на процес накопичення виділяють природні (сезонність, водний режим, температура води, хімічний склад води рН, окисно-відновний потенціал, вміст органічних речовин і мікроелементів води, фізіологічні, вікові та біологічні характеристики риби) та антропогенні (рівень промислових викидів, комунальні стічні, сільськогосподарські забруднення та техногенні аварії). Контроль за вмістом важких металів у водних екосистемах є важливим для зменшення їх накопичення у рибі та зниження ризиків для здоров'я людини, яка споживає рибу.

## Список використаної літератури

- Алимов І.С., Кононенко Р.В. Інтенсивні технології в аквакультури : навчальний посібник. К. 2011. 280 с.
- Вдовенко Н.М. Глобальні пріоритети сталого виробництва сільськогосподарської продукції. *Innovative solutions in modern science*. 2016. Вип. 4 (4). С. 3–17.
- Кононенко Р.В., Шевченко П.Г., Кондратюк В.М., Кононенко І.С. Інтенсивні технології в аквакультури : навчальний посібник. К. : Центр учбової літератури. 2016. 410 с.
- Люта Н.Г., Саніна І.В. Особливості розподілу вмісту важких металів у донних відкладах у різних природно-антропогенних умовах. *Мінеральні ресурси України*. 2023. Вип. 1. С. 35–38.
- Максимова Н.М., Шевченко І.О. Екологічна оцінка води ріки Самара за категоріями. Дніпро. ДДАЕУ. 2020. С. 53–55.
- Надточій П.П., Мислива Т.М. Екологічна безпека: навч. посіб. Житомир: вид-во «ДАЕУ». 2008. 284 с.
- Ali M.M., Rahman S., Islam M.S., Rakib M.R.J. Hossen S., Rahman M.Z., Kormoker T., Idris A.M., Phoungthong K. Distribution of heavy metals in water and sediment of an urban river in a developing country: *A probabilistic risk assessment*. *International Journal of Sediment Research*. 2022. № 37 (2). P. 173–187.
- Aquaculture: farming aquatic animals and plants / edited by J.S. Lucas, P.C. Southgate*. Blackwell Publishing Ltd. 2016. 648 p.
- Bordiug N.S., Kostytsia L.M. Analysis of the state of the Teteriv River in the Korostyshiv district. *Modern Problems of Balanced Nature Management*. 2014. P. 110–112.
- Hnativ R., Cherniuk V., Khirivskyi P., Kachmar N., Lopotych N., Hnativ I. Processes of Natural Self-Cleaning of Small Watercourses with Increasing Anthropogenic Load in the Dniester River Basin. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. № 24 (2). P. 12–18.

- Keshavarzi B. et al. Heavy metal contamination and health risk assessment in three commercial fish species in the Persian Gulf. *Mar. Pollut. Bull.* 2018. № 129. P. 245–252.
- Liu Q. et al. Heavy metal concentrations in tissues of marine fish and crab collected from the middle coast of Zhejiang Province, China. *Environ. Monit. Assess.* 2020. № 192. P. 1–12.
- Lyuta N. Regional features of heavy metals distribution in bottom sediments and surface water within river basins in Ukraine. *Geoinformatics 2021*. Kyiv, Ukraine. 2021. P. 11–14.
- Mangalagiri P., Bikkina A., Sundarraj D.K., Tatiparthi B.R. Bioaccumulation of heavy metals in *Rastrelliger kanagurta* along the coastal waters of Visakhapatnam, India. *Mar. Pollut. Bull.* 2020. № 160. 111658.
- Poplavskaya O.S., Gerasimchuk V.V. Opportunities for import substitution of aquaculture products in Ukraine. *Fisheries science of Ukraine*. 2020. № 4 (54). P. 22–37.
- Raj D., Maiti S.K. Sources, bioaccumulation, health risks and remediation of potentially toxic metal (loid)s (As, Cd, Cr, Pb and Hg): An epitomised review. *Environ. Monit. Assess.* 2020. 192. P. 1–20.
- Sattari M., Bibak M., Vajargah M.F., et al. Trace and major elements in muscle and liver tissues of *Alosa braschnikowii* from the South Caspian Sea and potential human health risk assessment. *J Mat Environ Sci.* 2020. № 11 (7). P. 1129–1140.
- Vajargah M.F., Namin J.I., Mohsenpour R. et al. Histological effects of sublethal concentrations of insecticide Lindane on intestinal tissue of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Vet Res Commun.* 2021. № 45 (4). P. 373–380.
- Vajargah M.F. A review on the effects of heavy metals on aquatic animals. *J Biomed Res Environ Sci.* 2021. № 2 (9). P. 865–869.
- Yang H. et al. An improved weighted index for the assessment of heavy metal pollution in soils in Zhejiang, China. *Environ. Res.* 2020. 192, 110246.

### References

- Alymov, I.S., & Kononenko, R.V. (2011). *Intensyvni tekhnologhiji v akvakul'turi: navchalnyj posibnyk* [Intensive technologies in aquaculture: training manual]. Kyiv [in Ukrainian].
- Vdovenko, N.M. (2016). *Ghlobalni priorytety stalogho vyrobnyctva sil's'koghospodars'kohoji produkciji* [Global priorities for sustainable agricultural production]. *Innovative solutions in modern science*, 4 (4), 3–17 [in Ukrainian].
- Kononenko, R.V., Shevchenko, P.H., Kondratiuk, V.M., & Kononenko, I.S. (2016). *Intensyvni tekhnologhiji v akvakul'turi* [Intensive technologies in aquaculture]. Kyiv : Tsentru uchbovoi literatury [in Ukrainian].
- Lyuta N.H., & Sanina I.V. (2023). *Osoblyvosti rozpodilu vmistu vazhkykh metaliv u donnykh vidkladakh u riznykh pryrodnoantropohennykh umovakh* [Features of the distribution of the content of heavy metals in bottom sediments under differennatural and anthropogenic conditions]. *Mineralni resursy Ukrainy* [Mineral resources of Ukraine], 1, 35–38 [in Ukrainian].
- Maksymova, N.M., & Shevchenko, I.O. (2020). *Ekolohichna otsinka vody richky Samara za katehoriiami* [Ecological assessment of Samara river water by categories]. Dnipro. DDAEU (in Ukrainian), 53–55 [in Ukrainian].
- Nadtochiiy, P.P. & Myslyva, T.M. (2008). *Ekolohichna bezpeka* [Ecological safety]. Zhytomyr [in Ukrainian].
- Ali, M.M., Rahman, S., Islam, M.S., Rakib, M.R.J., Hossen, S., Rahman, M.Z., Kormoker, T., Idris, A.M., & Phoungthong, K. (2022). Distribution of heavy metals in water and sediment of an urban river in a developing country: A probabilistic risk assessment. *International Journal of Sediment Research*, 37 (2), 173–187 [in English].
- Lucas, J.S., & Southgate, P.C. (2016). *Aquaculture: farming aquatic animals and plants*. Blackwell Publishing Ltd [in English].
- Bordiug, N.S., & Kostrytsia, L.M. (2014). Analysis of the state of the Teteriv River in the Korostyshiv district. *Modern Problems of Balanced Nature Management*. P. 110–112 [in English].
- Hnativ, R., Cherniuk, V., Khirivskyy, P., Kachmar, N., Lopotych, N., & Hnativ, I. (2023). Processes of Natural Self-Cleaning of Small Watercourses with Increasing Anthropogenic Load in the Dniester River Basin. *Journal of Ecological Engineering*, 24 (2), 12–18 [in English].
- Keshavarzi, B., et al. (2018). Heavy metal contamination and health risk assessment in three commercial fish species in the Persian Gulf. *Mar. Pollut. Bull.* 129, 245–252 [in English].
- Liu, Q., et al. (2020). Heavy metal concentrations in tissues of marine fish and crab collected from the middle coast of Zhejiang Province, China. *Environ. Monit. Assess.* 192, 1–12 [in English].



- Lyuta, N. (2021). Regional features of heavy metals distribution in bottom sediments and surface water within river basins in Ukraine. *Geoinformatics*. P. 11–14 [in Ukrainian].
- Mangalagiri, P., Bikkina, A., Sundarraj, D.K., & Tatiparthi, B.R. (2020). Bioaccumulation of heavy metals in *Rastrelliger kanagurta* along the coastal waters of Visakhapatnam, India. *Mar. Pollut. Bull.* 160, 111658 [in English].
- Poplavskaya, O.S., & Gerasimchuk, V.V. (2020). Opportunities for import substitution of aquaculture products in Ukraine. *Fisheries science of Ukraine*, 4 (54), 22–37 [in English].
- Raj, D., & Maiti, S.K. (2020). Sources, bioaccumulation, health risks and remediation of potentially toxic metal (loid) s (As, Cd, Cr, Pb and Hg): An epitomised review. *Environ. Monit. Assess.* 192, 1–20 [in English].
- Sattari, M., Bibak, M., & Vajargah, M.F., et al. (2020). Trace and major elements in muscle and liver tissues of *Alosa braschnikowy* from the South Caspian Sea and potential human health risk assessment. *J Mat Environ Sci.* 11(7), 1129–1140 [in English].
- Vajargah, M.F., Namin, J.I., & Mohsenpour, R., et al. (2021). Histological effects of sublethal concentrations of insecticide Lindane on intestinal tissue of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Vet Res Commun*, 45 (4), 373–380 [in English].
- Vajargah, M.F. (2021). A review on the effects of heavy metals on aquatic animals. *J Biomed Res Environ Sci*, 2 (9), 865–869 [in English].
- Yang, H., et al. (2020). An improved weighted index for the assessment of heavy metal pollution in soils in Zhejiang, China. *Environ. Res.* 192, 110246 [in English].

Отримано: 19.07.2024

Прийнято: 02.09.2024



УДК 614.777:613.31:546.134:628.16:616-036.3:061.1  
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.32>

## СУЧАСНИЙ СТАН ВОДНИХ РЕСУРСІВ БАСЕЙНУ ДНІПРА У ПОРІВНЯННІ З РІЧКАМИ ІНШИХ КРАЇН

Н. О. Кануннікова<sup>1</sup>, О. Г. Гайдучок<sup>2</sup>, Р. С. Томашевський<sup>3</sup>, Б. В. Воробйов<sup>4</sup>,  
Г. О. Князева<sup>5</sup>, А. О. Сакун<sup>6</sup>, О. В. Шестопалов<sup>7</sup>

*У статті розглядається аналіз сучасного стану водних ресурсів басейну Дніпра та порівнюються його якісні показники з іншими великими річками світу для визначення масштабів проблеми та ефективних шляхів її вирішення. Забезпечення якісними водними ресурсами є критично важливим для України, враховуючи стратегічне значення річки Дніпро для мільйонів людей, промислових підприємств та сільського господарства. Останніми роками стан води в басейні Дніпра викликає занепокоєння через зростаючий рівень забруднення, спричинений промисловими, сільськогосподарськими та побутовими відходами. Офіційні звіти свідчать про перевищення допустимих концентрацій важких металів та пестицидів у воді,*

<sup>1</sup> доктор філософії,  
старший науковий співробітник кафедри мікро- та наноелектроніки  
(Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків)  
e-mail: Nadiia.Kanunnikova@khpi.edu.ua  
ORCID: 0000-0003-3611-6729

<sup>2</sup> кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод  
(Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків)  
e-mail: oleksandr.haiduchok@kname.edu.ua  
ORCID: 0000-0003-3139-9061

<sup>3</sup> доктор технічних наук, професор,  
директор інституту енергетики, електроніки та електромеханіки  
(Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків)  
e-mail: roman.tomashevskiyi@khpi.edu.ua  
ORCID: 0000-0002-5278-9272

<sup>4</sup> доктор філософії,  
завідувач кафедри автоматизованих електромеханічних систем  
(Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків)  
e-mail: bohdan.vorobiov@khpi.edu.ua  
ORCID: 0000-0002-0264-354X

<sup>5</sup> доктор філософії,  
старший викладач кафедри матеріалознавства  
(Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків)  
e-mail: annapostelnik@ukr.net  
ORCID: 0000-0002-5290-7566

що створює серйозні екологічні та соціально-економічні проблеми. В дослідженні використувалися моніторингові дані вод у Дніпропетровській та Полтавській областях, а також міжнародні дані з європейських, американських та китайських джерел. Метод аналізу даних включав описову статистику. Результати дослідження показали, що концентрації хлоридів і сульфатів у воді басейну Дніпра значно перевищують європейські та американські стандарти, що свідчить про значне антропогенне забруднення. Окрім цього, високі рівні трофності та сапробності вказують на значне органічне забруднення, що може призводити до евтрофікації та зниження біорізноманіття. Наукова новизна дослідження полягає у комплексному порівнянні якості води в басейні Дніпра з іншими великими річками світу, що дозволило виявити специфічні проблеми та їхні причини. Практична значущість дослідження полягає у розробці рекомендацій для покращення якості водних ресурсів через впровадження сучасних технологій очищення, посилення екологічного моніторингу та зменшення антропогенного навантаження, що сприятиме стійкому розвитку водних ресурсів України та підвищенню екологічної безпеки регіону.

---

**Ключові слова:** екологічний стан, водні ресурси, якість води, порівняння.

---

## THE CURRENT STATE OF WATER RESOURCES IN THE DNIPRO BASIN COMPARED TO OTHER COUNTRIES

**N. O. Kanunnikova, O. G. Haiduchok, R. S. Tomashevskiy, B. V. Vorobiov,  
H. O. Kniazieva, A. O. Sakun, O. V. Shestopalov**

*The article analyzes the current state of water resources in the Dnipro basin. It compares its quality indicators with other large rivers of the world to determine the scale of the problem and effective ways to solve it. Ensuring high-quality water resources is critically important for Ukraine, given the strategic significance of the Dnipro River for millions of people, industrial enterprises, and agriculture. In recent years, the state of water in the Dnipro basin has raised concerns due to the increasing levels of pollution caused by industrial, agricultural, and household waste. Official reports indicate that the permissible concentrations of heavy metals and pesticides in the water are being exceeded, creating serious environmental and socio-economic problems. The research used water monitoring data in the Dnipropetrovsk and Poltava regions and international data from European, American and Chinese sources. Methods included descriptive statistics, regression and correlation analyses, and principal component analysis. The study results show that the concentrations of chlorides and sulfates in the water of the Dnipro basin significantly exceed European and American standards, indicating significant anthropogenic pollution. In addition, high levels of trophicity and saprobity indicate significant organic pollution, which can lead to eutrophication and decreased biodiversity. The scientific novelty of the study consists of a comprehensive comparison of the water quality in the Dnipro basin with other large rivers of the world, which made it possible to identify specific problems and their causes. The practical significance of the study lies in the development of recommendations for improving the quality of water resources through the implementation of modern cleaning technologies, strengthening environmental monitoring and reducing anthropogenic load, which will contribute to the sustainable development of water resources in Ukraine and increase the ecological safety of the region.*

---

**Key words:** ecological condition, water resources, water quality, comparison.

---

<sup>6</sup> доктор філософії,  
доцент кафедри «Хімічна техніка та промислова екологія»  
(Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків)  
e-mail: antonina.sakun@khp.edu.ua  
ORCID: 0000-0002-1079-7856

<sup>7</sup> кандидат технічних наук, доцент,  
завідувач кафедри «Хімічна техніка та промислова екологія»  
(Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків)  
e-mail: Oleksii.shestopalov@khp.edu.ua  
ORCID: 0000-0001-6268-8638

## Вступ

Річка Дніпро є однією з ключових водних артерій України, забезпечуючи водними ресурси господарсько-питні потреби населення, промислові підприємства та сільськогосподарську діяльність. Від якості води залежить здоров'я населення та економічна стабільність країни. За даними Державного агентства водних ресурсів України, близько 70% населення залежить від води з басейну Дніпра (Ероуан et al., 2023).

Останні роки якість води в річці значно погіршилася через вплив промислових, сільськогосподарських і побутових забруднювачів. Рівень забруднення важкими металами та пестицидами в деяких частинах басейну перевищує допустимі норми в 2–3 рази, створюючи серйозні екологічні та соціально-економічні проблеми (Наріч et al., 2024).

Актуальність дослідження зростає ще більше у зв'язку з поточною війною, яка має значний вплив на водні ресурси басейну Дніпра. Воєнні дії призводять до руйнування інфраструктури, забруднення води хімічними речовинами, нафтопродуктами та іншими небезпечними матеріалами (Lyuta et al., 2022). За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, під час активних бойових дій було пошкоджено більше 100 об'єктів водної інфраструктури, що призвело до витоку небезпечних речовин у водні об'єкти (Ероуан et al., 2023). Це спричиняє додаткові екологічні загрози та ускладнює доступ до чистої питної води для місцевого населення і унеможливає проведення регулярного моніторингу якості води та впровадження необхідних заходів для її очищення (Khilchevskiy et al., 2021).

Проблематика дослідження полягає у необхідності глибокого аналізу сучасного стану водних ресурсів басейну Дніпра та порівняння його з іншими великими річками світу. Такий підхід дозволить зрозуміти масштаб проблеми та визначити ефективні шляхи її вирішення, а також проаналізувати успішні практики та технології поліпшення стану водних ресурсів (Lavine, 2021).

Метою дослідження є аналіз сучасного стану водних ресурсів басейну Дніпра та порівняння його з іншими річками світу, що дозволить зрозуміти масштаб проблеми та визначити ефективні шляхи її вирішення, які дозволять не лише покращити екологічний стан басейну Дніпра, але й сприятимуть стійкому розвитку водних ресурсів країни в цілому.

## Матеріал і методи

Під час дослідження якості води басейна Дніпра особлива увага була приділена показникам тропності та сапробності води. Для цього використовували дані лабораторій моніторингу вод у Дніпропетровській та Полтавській областях (дані Державного агентства водних ресурсів, <http://monitoring.davr.gov.ua>), а також басейнової лабораторії моніторингу вод МОЗМ дніпровських водосховищ та лабораторії моніторингу вод та ґрунтів БУВР Прип'яті (<https://data.gov.ua/dataset/surface-water-monitoring>). Для проведення порівняльного аналізу якості води між основною річкою України, Німеччини, Сполученими Штатами Америки та Китаєм були використані моніторингові дані European Environment Agency (EEA) (офіційний сайт EEA, звіти та дані про якість води), United States Environmental Protection Agency (EPA) (офіційний сайт EPA, Water Quality Data) та US Geological Survey (USGS) (офіційний сайт USGS, National Water Information System (NWIS)), Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China (офіційний сайт MEE, Environmental Reports).

## Результати та їх обговорення

Дніпро протікає через центральну частину України, розділяючи її на правобережну та лівобережну частини. В межах України річка Дніпро має численні притоки, серед яких найбільші – Прип'ять, Десна, Тетерів, Ірпінь, Рось, Сула, Псел, Ворскла, Самара, Інгулець. Довжина Дніпра в межах України становить приблизно 981 км. Площа басейну річки Дніпро в Україні становить близько 291,000 км<sup>2</sup>, що охоплює значну частину території країни.

У табл. 1 наведено детальну інформацію щодо якості води в басейні Дніпра, зокрема за хлоридами та сульфатами протягом 2022–2024 років. Відображено середні та максимальні значення концентрацій цих компонентів, а також категорії якості води на основі цих даних.

Значення сульфатів також змінювалися залежно від місця аналізу. Максимальні значення у 2022 році варіювалися від 32,0 мг/дм<sup>3</sup> у с. Сокирне (27016) до 51,0 мг/дм<sup>3</sup> у Бердичівському водосховищі (26966). Категорії якості води для сульфатів зазвичай знаходилися в межах від 1/1 до 1/2. Показники хлоридів варіюються залежно від пункту аналізу. Наприклад, у 2022 році максимальні значення хлоридів коливалися

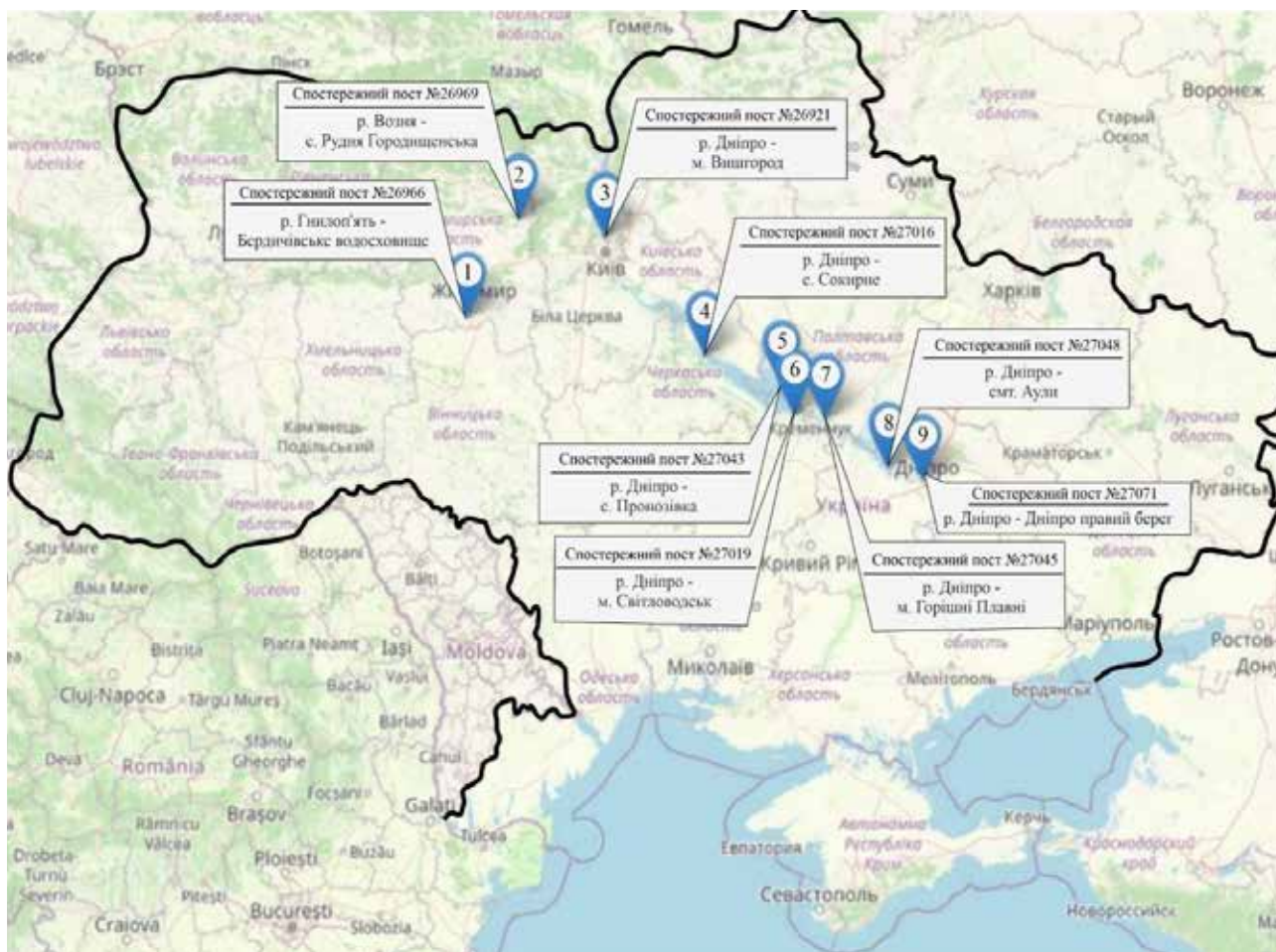


Рис. 1. Карта точок аналізу води басейну Дніпра

Таблиця 1

Екологічна оцінка сучасного стану якості води басейна Дніпра за показниками сольового складу протягом 2022–2024 років

Показники якості води (середні/максимальні)		Номер пункту аналізу води								
		26966	26969	26921	27016	27019	27043	27045	27048	27071
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2022 р.										
Хлориди	Величина	53,1/ 60,0	21,5/ 30,0	19,1/ 20,1	16,3/ 23,0	22,2/ 36,0	27,1/ 38,0	23,2/ 28,0	25,7/ 28,3	27,6/ 35,4
	Категорія	3/3	2/2	1/1	1/2	2/3	2/3	2/2	2/2	2/3
Сульфати	Величина	46,5/ 51,0	40,0/ 48,0	24,9/ 48,0	26,1/ 32,0	34,5/ 40,0	41,0/ 60,0	30,5/ 34,0	30,4/ 34,5	33,2/ 39,7
	Категорія	1/2	1/1	1/1	1/1	1/1	1/2	1/1	1/1	1/1
2023 р.										
Хлориди	Величина	51,6/ 60,0	26,0/ 33,0	18,8/ 29,0	18,6/ 22,0	20,9/ 22,8	24,2/ 30,0	23,5/ 29,0	25,6/ 28,3	24,6/ 30,1
	Категорія	3/3	2/3	1/2	1/2	1/2	2/2	2/2	2/2	2/2
Сульфати	Величина	62,5/ 74,0	49,8/ 77,0	22,4/ 35,8	29,7/ 40,0	39,8/ 40,0	32,5/ 42,0	30,8/ 36,0	33,6/ 49,9	31,8/ 46,0
	Категорія	2/2	1/2	1/1	1/1	1/1	1/1	1/21	1/1	1/1

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2024 р.										
Хлориди	Величина мг/дм <sup>3</sup>	50,0/ 54,0	25,5/ 27,0	18,0/ 24,6	18,7/ 22,0	20,0/ 20,7	24,5/ 27,0	23,0/ 26,0	26,0/ 31,9	24,8/ 26,5
	Категорія	3/3	2/2	1/2	1/2	1/1	2/2	2/2	2/2	2/2
Сульфати	Величина мг/дм <sup>3</sup>	65,5/ 80,0	51,2/ 61,0	30,4/ 44,0	29,0/ 30,0	35,0/ 38,0	34,0/ 36,0	34,0/ 38,0	28,7/ 44,1	26,9/ 57,6
	Категорія	2/2	2/2	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/2



Рис. 2. Екологічна оцінка сучасного стану якості води басейну Дніпра за показниками трофо-сапробіологічного складу протягом 2022–2024 років

Таблиця 2

Порівняльний аналіз якості води в Україні, ЄС, США та Китаї

Показник, мг/дм <sup>3</sup>	Україна (Дніпро)	ЄС (Рейн)	США (Маумі)	Китай (Янцзи)
Хлориди	20,0–60,0	2,5–25,0	2,5–25,0	5,0–40,0
Сульфати	30,0–80,0	5,0–25,0	5,0–30,0	10,0–50,0
БСК <sub>5</sub>	1,5–5,0	1,0–4,0	1,0–5,0	2,0–8,0
Нітрати	0,28–4,0	0,1–3,0	0,1–3,0	0,2–6,0
Нітрити	0,01–0,1	0,001–0,05	0,001–0,02	0,01–0,1
Фосфати	0,03–1,2	0,01–0,1	0,01–0,1	0,05–0,5
Амоній	0,2–0,75	0,1–0,5	0,1–0,5	0,3–1,5
Розчинений кисень	6,0–13,0	7,0–10,0	6,0–9,0	4,0–8,0

від 20,1 мг/дм<sup>3</sup> у м. Вишгороді (26921) до 60,0 мг/дм<sup>3</sup> у Бердичівському водосховищі (26966). Категорії якості води для хлоридів варіювалися від 1/1 (найкраща якість) до 3/3 (найгірша якість).

На рис. 2 показано залежність екологічну оцінку якості води в басейні Дніпра від трофо-сапробіологічних показників (ступінь насиченості води поживними речовинами та ступінь забруднення органічними речовинами).

У 2022 році спостерігалися високі показники трофності та сапробності, що вказує на значне забруднення води поживними речовинами та органічними забруднювачами. Висока трофність може призводити до евтрофікації, що, в свою чергу, викликає цвітіння води та зниження вмісту кисню. Високі значення сапробності свідчать про наявність значного органічного забруднення, що також може призводити до погіршення якості води та зниження біологічного різноманіття. У 2023 році в деяких пунктах аналізів таких, як 26921, 27016, 27019 відбулося зниження трофності до категорії 1/2. Можливими причинами зниження трофності та сапробності можуть бути реалізація заходів щодо зменшення забруднення, такі як покращення очищення стічних вод, зниження промислових викидів, а також природні фактори, що впливають на якість води. Дані 2024 року показують тенденцію до стабілізації показників, однак значення все ще залишаються високими, що вказує на необхідність подальших зусиль для покращення якості води.

Для проведення порівняльного аналізу якості води в Україні, Європейському Союзі (ЄС), Сполучених Штатах Америки (США) та Китаї були обрані ключові показники забруднення води, що включають хлориди, сульфати, біохімічне споживання кисню (БСК<sub>5</sub>), нітрати, нітрити, фосфати, амоній

та розчинений кисень (табл. 2). Порівняння дозволяє виявити основні проблеми та відмінності у якості води між цими країнами, а також визначити необхідні заходи для покращення стану водних ресурсів в Україні.

У ЄС існують жорсткі стандарти щодо якості питної води, регламентовані Директивою про питну воду (<https://www.usgs.gov>). Загалом якість води в країнах ЄС вища завдяки суворим екологічним нормам та активним заходам з охорони довкілля. Наприклад, у багатьох країнах ЄС водоочисні споруди ефективно видаляють забруднювачі, такі як нітрати та важкі метали, що знижує ризик для здоров'я населення.

В США якість води регулюється Агентством з охорони навколишнього середовища (EPA) через Закон про безпечну питну воду (SDWA) (<https://www.epa.gov/sdwa>). Хоча в багатьох регіонах вода відповідає високим стандартам якості, існують також проблеми із забрудненням, зокрема через старі системи водопостачання та промислові викиди. Флінт, штат Мічиган, є одним з відомих прикладів кризової ситуації з якістю води через свинець.

Китай стикається з великими проблемами щодо якості води через швидку індустріалізацію та урбанізацію. Забруднення води є серйозною проблемою в багатьох регіонах країни. Основними забруднювачами є важкі метали, пестициди, промислові хімікати та стічні води. В останні роки уряд Китаю вкладає значні кошти в покращення водоочисних технологій та моніторинг якості води, однак проблеми залишаються значними.

Концентрація хлоридів у воді річки Дніпро в Україні значно перевищує рівні в ЄС та США, але знаходиться в межах показників Китаю. Високий рівень хлоридів може вказувати на забруднення від сіль-

ського господарських та промислових джерел. Сульфатне забруднення води в Україні також перевищує показники ЄС та США, і є подібним до Китаю, що може бути наслідком промислових викидів та використання мінеральних добрив.

Показники біохімічного споживання кисню (БСК<sub>5</sub>) в Україні знаходяться в межах норм ЄС та США, але нижчі, ніж у Китаї, що свідчить про відносно низький рівень органічного забруднення. Рівень розчиненого кисню в Україні є достатньо високим, але все ж нижчим, ніж у ЄС та США, і перевищує показники Китаю. Розчинений кисень є важливим показником для підтримки водних екосистем.

Концентрація нітратів у воді річки Дніпро є найнижчою серед усіх розглянутих регіонів, тоді як у ЄС, США та Китаї дані показники варіюються у ширших межах, що може свідчити про ефективну систему управління нітратним забрудненням в Україні. Нітрити у воді річки Дніпро знаходяться на рівні показників Китаю, але перевищують рівні в ЄС та США. Високий рівень нітритів може бути ознакою свіжого забруднення води.

Фосфатне забруднення в Україні є вищим, ніж у ЄС та США, але подібним до Китаю, що може бути наслідком використання фосфатних добрив та побутових стічних вод. Концентрація амонію в Україні перевищує показники в ЄС та США, але є нижчою, ніж у Китаї. Амоній може походити з побутових та сільськогосподарських джерел забруднення.

Для покращення якості водних ресурсів басейну Дніпра та забезпечення стійкого розвитку водних ресурсів України необхідно впровадити низку заходів, ґрунтуючись на успішному міжнародному досвіді (Strokal et al., 2023). Ось декілька рекомендацій:

1. Застосування інтегрованого підходу до управління водними ресурсами (Integrated Water Resources Management, IWRM), який включає координацію розвитку та управління водними, земельними та іншими ресурсами для максимального економічного та соціального добробуту без шкоди для стійкості життєво важливих екосистем (Novitskyi et al., 2024). Рекомендується розробити національний план IWRM з урахуванням специфіки басейну Дніпра. Важливо також залучити всіх зацікавлених сторін, включаючи урядові агенції, місцеві громади, промислові підприємства та неурядові організації, до процесу прийняття рішень.

2. Використання передових технологій очищення води, таких як мембранні технології, біологічне очищення та хімічні методи, що дозволять значно зменшити забруднення води. Рекомендується модернізувати існуючі очисні споруди, впровадивши нові технології очищення. Комбінація методів фільтрації, озонування та УФ-випромінювання забезпечує комплексний підхід до очищення води від різних типів забруднень, включаючи біологічні, хімічні та механічні забруднення. Важливо також залучити інвестиції для будівництва нових очисних споруд з використанням найсучасніших технологій (Haiduchok et al., 2024).

3. Встановлення системи постійного моніторингу якості води, яка включає використання автоматичних станцій моніторингу, що забезпечать оперативне отримання даних про стан водних ресурсів. Існуючі системи моніторингу потребують відновлення, оскільки вони погано працюють і більшість даних стосуються періоду до 2018 року.

4. Впровадження заходів з контролю та зменшення антропогенного навантаження на водні ресурси, таких як зменшення використання хімічних добрив та пестицидів, контроль промислових викидів та очистка стічних вод. Рекомендується впровадити законодавчі обмеження на використання хімічних добрив та пестицидів у сільському господарстві (Vyshnevskiy et al., 2024). Важливо також підвищити екологічні вимоги до промислових підприємств з метою зменшення викидів забруднюючих речовин у водні об'єкти та запровадити систему стимулів для підприємств, які впроваджують екологічно чисті технології.

5. Проведення навчальних програм та інформаційних кампаній для підвищення обізнаності населення та зацікавлених сторін про важливість збереження водних ресурсів та способи зменшення забруднення (Vyshnevskiy et al., 2023). Рекомендується розробити та впровадити освітні програми з питань водокористування та охорони водних ресурсів для шкіл та університетів. Важливо також провести інформаційні кампанії через засоби масової інформації для підвищення екологічної свідомості населення.

6. Активне залучення до міжнародних проектів та програм, обмін досвідом з іншими країнами, які успішно вирішують проблеми управління водними ресурсами.



Рекомендується вступити до міжнародних організацій та ініціатив, що займаються питаннями водних ресурсів. Важливо також розвивати співпрацю з країнами, які мають успішний досвід управління водними ресурсами, з метою обміну технологіями та найкращими практиками.

#### **Висновки**

Якість води в поверхневих джерелах України значно гірша порівняно з країнами

ЄС та США, де існують більш суворі екологічні стандарти та ефективніші системи очищення води. Китай має серйозні проблеми з забрудненням води, подібні до тих, що спостерігаються в Україні, але вкладає значні ресурси в покращення ситуації. Для покращення якості води в Україні необхідно впроваджувати міжнародний досвід та технології, а також посилювати екологічні норми і моніторинг.

#### **Список використаної літератури**

Чиста вода. Інтерактивна карта забрудненості річок в Україні на основі даних Державного агентства водних ресурсів [Електронний ресурс]. URL: <http://texty.org.ua/water/> (дата звернення 08.07.2024).

Eroyan S., Sukhorukov G., Volkov V., Haiduchok O. The method and research of a horizontal settler with improved design. *5th International Scientific and Practical Conference "Innovative Technology in Architecture and Design" (ITAD-2021)*. AIP Publishing, 2023. Vol. 2490. Issue 1. №060017. <https://doi.org/10.1063/5.0122720>.

European Environment Agency (EEA). EU agency for providing independent information on the state of the environment [Електронний ресурс]. URL: <https://www.eea.europa.eu/en> (дата звернення 09.07.2024).

Haiduchok O., Kanunnikova N., Sakun A., Tomashevskiy R., Vorobiov B. Prospective technologies of water purification and disinfection for safe human consumption. The development of technical, agricultural and applied sciences as the main factor in improving life. Boston : Primedia eLaunch, 2024. P. 230–252.

Hapich H., Onopriienko D. Ecology and economics of irrigation in the south of Ukraine following destruction of the Kakhov reservoir. *International Journal of Environmental Studies*. 2024. Vol. 81. № 1. P. 301–314.

Hapich H., Zahrytsenko A., Sudakov A., Pavlychenko A., Yurchenko S., Sudakova D., Chushkina I. Prospects of alternative water supply for the population of Ukraine during wartime and post-war reconstruction. *International Journal of Environmental Studies*. 2024. Vol. 81. № 1. P. 289–300.

Khilchevskiy V., Karamushka V. Global Water Resources: Distribution and Demand. In: Leal Filho W., Azul A.M., Brandli L., Lange Salvia A., Wall T. (eds) *Clean Water and Sanitation*. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Springer, Cham. 2021.

Lavine M. Pufferfish-inspired water purification. *Science*. 2021. Vol. 372. P. 357–358.

Lyuta N., Sanina I. Water quality problems of unconfined aquifers in the Dnipro basin. *Monitoring* 2022. 2022. Vol. 18834.

Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Environmental Reports [Електронний ресурс]. URL: <https://english.mee.gov.cn> (дата звернення 09.07.2024).

Novitskiy R., Hapich H., Maksymenko M., Kovalenko V. Loss of fisheries from destruction of the Kakhovka reservoir. *International Journal of Environmental Studies*. 2024. Vol. 81. № 1. P. 315–323.

Stokal V., Kurovska A., Stokal M. More river pollution from untreated urban waste due to the Russian-Ukrainian war: a perspective view. *Journal of Integrative Environmental Sciences*. 2023. Vol. 20. № 1. P. 2281920.

United States Environmental Protection Agency (EPA). US Environmental Protection Agency, US Environmental Protection Agency [Електронний ресурс]. URL: <https://www.epa.gov> (дата звернення 09.07.2024).

US Geological Survey (USGS). National Water Information System [Електронний ресурс]. URL: <https://www.usgs.gov> (дата звернення 09.07.2024).

Vyshnevskiy V., Shevchuk S. The destruction of the Kakhovka dam and the future of the Kakhovske reservoir. *International Journal of Environmental Studies*. 2024. Vol. 81. № 1. P. 275–288.

Vyshnevskiy V., Shevchuk S., Komorin V., Oleynik Y., Gleick P. The Destruction of the Kakhovka Dam and Its Consequences. *Water International*. 2023. Vol. 48. № 5. P. 631–647.

## References

- Chysta voda. Interaktyvna karta zabrudnenosti richok v Ukraini na osnovi danykh Derzhavnogho aghentstva vodnykh resursiv [Clean Water. Interactive map of river pollution in Ukraine based on data from the State Agency of Water Resources]. [Electronic resource] URL: <http://texty.org.ua/water/> (access date 08.07.2024) [in Ukrainian].
- Epoyan, S., Sukhorukov, G., Volkov, V., & Haiduchok, O. (2023). The method and research of a horizontal settler with improved design. *5th International Scientific and Practical Conference "Innovative Technology in Architecture and Design" (ITAD-2021)*. AIP Publishing. Vol. 2490. Issue 1. №060017. <https://doi.org/10.1063/5.0122720> [in English].
- European Environment Agency (EEA). EU agency for providing independent information on the state of the environment [Electronic resource]. URL: <https://www.eea.europa.eu/en> (access date 09.07.2024) [in English].
- Haiduchok, O., Kanunnikova, N., Sakun, A., Tomashevskiy, R., & Vorobiov, B. (2024). Prospective technologies of water purification and disinfection for safe human consumption. The development of technical, agricultural and applied sciences as the main factor in improving life, O. Trembitska, S. Zhuravel, S. Stoliar, L. Bilotserkivska (ed.). Boston : Primedia eLaunch, pp. 230–252 [in English].
- Hapich, H., & Onoprienko, D. (2024). Ecology and economics of irrigation in the south of Ukraine following destruction of the Kakhov reservoir. *International Journal of Environmental Studies*, 81 (1), 301–314. <https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2314859> [in English].
- Hapich, H., Zahrytsenko, A., Sudakov, A., Pavlychenko, A., Yurchenko, S., Sudakova, D., & Chushkina, I. (2024). Prospects of alternative water supply for the population of Ukraine during wartime and post-war reconstruction. *International Journal of Environmental Studies*, 81 (1), 289–300. <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2296781> [in English].
- Khilchevskiy, V., & Karamushka, V. (2021). Global Water Resources: Distribution and Demand. In W. Leal Filho, A.M. Azul, L. Brandli, A. Lange Salvia, & T. Wall (Eds.), *Clean Water and Sanitation. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*. Cham : Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-70061-8\\_101-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70061-8_101-1) [in English].
- Lavine, M. (2021). Pufferfish-inspired water purification. *Science*, 372, 357–358. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.372.6540.357-E> [in English].
- Lyuta, N., & Sanina, I. (2022). Water quality problems of unconfined aquifers in the Dnipro basin. *Monitoring 2022*, 18834. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580175> [in English].
- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Environmental Reports [Electronic resource]. URL: <https://english.mee.gov.cn> (access date 09.07.2024) [in English].
- Novitskiy, R., Hapich, H., Maksymenko, M., & Kovalenko, V. (2024). Loss of fisheries from destruction of the Kakhovka reservoir. *International Journal of Environmental Studies*, 81 (1), 315–323. <https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2314890> [in English].
- Strokal, V., Kurovska, A., & Strokal, M. (2023). More river pollution from untreated urban waste due to the Russian-Ukrainian war: a perspective view. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 20 (1), 2281920. <https://doi.org/10.1080/1943815X.2023.2281920> [in English].
- United States Environmental Protection Agency (EPA). US Environmental Protection Agency, US Environmental Protection Agency [Electronic resource]. URL: <https://www.epa.gov> (access date 09.07.2024) [in English].
- US Geological Survey (USGS). National Water Information System [Electronic resource]. URL: <https://www.usgs.gov> (access date 09.07.2024) [in English].
- Vyshnevskiy, V., & Shevchuk, S. (2024). The destruction of the Kakhovka dam and the future of the Kakhovske reservoir. *International Journal of Environmental Studies*, 81 (1), 275–288. <https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2320033> [in English].
- Vyshnevskiy, V., Shevchuk, S., Komorin, V., Oleynik, Y., & Gleick, P. (2023). The Destruction of the Kakhovka Dam and Its Consequences. *Water International*, 48 (5), 631–647. <https://doi.org/10.1080/02508060.2023.2247679> [in English].

Отримано: 17.07.2024  
Прийнято: 15.08.2024



УДК 502.11:303.446

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.33>

**ВИДОВЕ РІЗНОМАНІТТЯ ФЛОРИ І ФАУНИ В ЗОНІ ПЛАНОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ  
ПІДПРИЄМСТВА З ВИПАЛЮВАННЯ ДЕРЕВНОГО ВУГІЛЛЯ  
ТОВ «ЕКОКАРБЕКС» С. РАДИЧІ ЖИТОМИРСЬКОГО РАЙОНУ  
ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

**Т. М. Коткова<sup>1</sup>, Ю. С. Шелюк<sup>2</sup>, Л. Є. Астахова<sup>3</sup>**

У статті описане видове різноманіття флори і фауни в зоні планової діяльності ТОВ «ЕкоКарбекс». Виробнича діяльність із випалювання деревного вугілля здійснюється на асфальтованому майданчику, де в минулому розташовувався машинно-тракторний парк колишнього колгоспу.

Встановлено, що на даній ділянці екологічно цінні види замінилися видами більш стійкими, в тому числі рудеральними, адвентивними, а іноді навіть агресивними. Навколо виробничого майданчика сформувалися в основному різнотравні, типові для Полісся формації, які поступово витісняються самосівними деревами та кущами. Спостерігаються типові для Полісся сукцесії заростання трав'янистих угруповань чагарниково-деревною рослинністю.

В угрупованнях переважають такі види: цикорій дикий або петрові батози (*Cichorium intybus* L.), буги́ла лісова (*Anthriscus sylvestris* L.), жовтозілля звичайне (*Senecio vulgaris* L.) і жовтозілля весняне (*S. vernalis* Waldst. & Kit.), осот польовий (*Cirsium arvense* (L.) Scop.), люцерна жовта (*Medicago falcata* L.), конюшина польова або котики (*Trifolium arvense* L.), лобода міська (*Chenopodium urbicum* L.), синяк звичайний (*Echium vulgare* L.), полин гіркий (*Artemisia absinthium* L.) та полин звичайний (*A. vulgaris* L.), грицики звичайні (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik), горлянка жене́вська (*Ajuga genevensis* L.), морква дика (*Daucus carota* L.).

Також були помічені осередки адвентивних, інвазійних рослин, зокрема таких як золотушник канадський (*Solidago canadensis* L.), ваточник сирійський (*Asclepias syriaca* L.) та інші. Деревно-чагарникова рослинність представлена вербою білою (*Salix alba* L.), вербою козячою (*S. carpea* L.), вербою вушкатою (*S. aurita* L.) та вербою вавилонською або плакучою

<sup>1</sup> кандидат сільськогосподарських наук, доцент  
(Поліський національний університет, м. Житомир)  
e-mail. [tetjana.kotkova@gmail.com](mailto:tetjana.kotkova@gmail.com)  
ORCID: 0000-0002-1785-7620

<sup>2</sup> доктор біологічних наук, професор  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)  
e-mail. [Shelyuk\\_Yulya@ukr.net](mailto:Shelyuk_Yulya@ukr.net)  
ORCID: 0000-0001-6429-1028

<sup>3</sup> кандидат біологічних наук, доцент  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)  
e-mail: [lastahovazt@gmail.com](mailto:lastahovazt@gmail.com)  
ORCID: 0000-0003-1159-525X

(*S. babylonica* L.), крушиною ламкою (*Frangula alnus* Mill.). Зустрічається верба попеляста (*S. cinerea* L.), груша звичайна (*Pyrus communis* L.) та яблуня лісова (*Malus silvestris* Mill.). Найчисленнішими представниками фауни є комахи. Серед хребетних безпосередньо на виробничому майданчику виявлені представники мишоподібних гризунів, за межами – окремі види земноводних, плазунів та птахів.

**Ключові слова:** видове різноманіття, рослинний склад, флора, фауна, адвентивні види, агресивні види, ТОВ «Екокарбекс», підприємство з випалювання деревного вугілля.

## **SPECIES DIVERSITY OF FLORA AND FAUNA IN THE AREA OF PLANNED ACTIVITY OF THE CHARCOAL BURNING ENTERPRISE «EKO CARBEKS» LLC, RADICHI VILLAGE OF ZHYTOMYR DISTRICT OF ZHYTOMYR REGION**

**T. M. Kotkova, Yu. S. Shelyuk, L. E. Astakhova**

*Species diversity of flora and fauna in the area of planned activity of the charcoal burning enterprise «EkoCarbeks» LLC, Radichi village of Zhytomyr district of Zhytomyr region*

*The article describes the types of diversity of flora and fauna in the area of planned activity of EcoCarbex LLC. The production activity of burning charcoal is carried out on the asphalt site, where in the past the machinery and tractor park of the former collective farm was located. It was established that in this area ecologically valuable species were replaced by more resistant species, including ruderal, adventive, and sometimes even aggressive species. It was established that in this area ecologically valuable species were replaced by more resistant species, including ruderal, adventive, and sometimes even aggressive species.*

*Around the production site, mainly various herbaceous formations, typical for Polissia, have formed, which are gradually being replaced by self-sowing trees and bushes. Typical for Polissia successions of overgrowth of herbaceous groups with shrubby and woody vegetation are observed.*

*The groups are dominated by the following species: wild chicory or St. John's wort (*Sychorium intybus* L.), sedge (*Anthriscus sylvestris* L.), common sedum (*Senecio vulgaris* L.) and spring sedum (*S. vernalis* Waldst. & Kit.), thistles field (*Cirsium arvense* (L.) Scop.), yellow alfalfa (*Medicago falcata* L.), field clover (*Trifolium arvense* L.), city quinoa (*Chenopodium urbicum* L.), common bruise (*Echium vulgare* L.), bitter wormwood (*Artemisia absinthium* L.) and common wormwood (*A. vulgaris* L.), common sorrel (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik), Geneva gooseberry (*Ajuga genevensis* L.), wild carrot (*Daucus carota* L.).*

*Fossils of adventive, invasive plants were also observed, including such as the Canadian goldenrod (*Solidago canadensis* L.), Syrian cottonwood (*Asclepias syriaca* L.) and others.*

*Tree-shrub vegetation is represented by white willow (*Salix alba* L.), goat willow (*S. caprea* L.), eared willow (*S. aurita* L.) and Babylonian or weeping willow (*S. bylonica* L.), buckthorn (*Frangula alnus* Mill.). Ash willow (*S. cinerea* L.), common pear (*Pyrus communis* L.) and apple tree (*Malus silvestris* Mill.) are found.*

*The most numerous representatives of the fauna are insects. Among the vertebrates, representatives of mouse-like rodents were found directly on the production site, and some species of amphibians, reptiles and birds were found outside.*

**Key words:** species diversity, plant composition, flora, fauna, adventive species, aggressive species, Ekokarbex LLC, charcoal burning enterprise.

### **Вступ**

Основною діяльністю підприємства, територія якого досліджувалась, є виробництво деревного вугілля піролізним методом. Підприємство із виготовлення деревного вугілля ТОВ «ЕкоКарбекс» відноситься до 2 класу небезпеки з нормативною санітарно-захисною зоною (СЗЗ) 500 м у відповідності до додатку №3 ДСП 173-96.

Випалювання деревного вугілля – одна з найдавніших технологій людства. Існує думка, що деревне вугілля поклало початок розвитку цивілізації. Виробництво дерев-

ного вугілля на сьогодні не втратило актуальності. Якщо до недавнього часу деревне вугілля випалювалось у бочках, то наразі розробляються і впроваджуються екологічно чисті та економічно раціональні технології. Європейський курс України передбачає впровадження новітніх технологій, завдяки яким показники деревно-вугільної продукції відповідатимуть міжнародним технологічним стандартам.

Результати дослідження, наведені в даній статті, є частиною процедури ОВД (оцінки впливу на довкілля), а саме «Обґрунтування

розміру санітарно-захисної зони підприємства з випалювання деревного вугілля ТОВ «ЕкоКарбекс» за адресою: Житомирська область, Житомирський район, с. Радичі».

### Матеріал і методи

Дослідження проводились упродовж 2022–2023 рр. маршрутним методом із використанням польових спостережень, а також збору гербарних зразків рослин на виробничому майданчику та в межах санітарно-захисної зони – 500 м, систематичної ідентифікації рослин, грибів та тварин за допомогою визначників і посібників (Визначник ..., 1965; Барановський, 2006; Vincent, 2009; Михайловський, 2010). Охоронний статус рослин та належність до регіонально рідкісних видів уточнювали за посібником (Орлов, 2005) та нормативними документами (Перелік ..., 2021 а, б). Систематичне положення і номенклатура таксонів покритонасінних рослин наведені за системою класифікації квіткових рослин APG IV (Chase et al., 2016).

Об'єктом дослідження була флора і фауна виробничого майданчика та прилеглих територій, що потрапляють в санітарно-захисну зону підприємства з випалювання деревного вугілля ТОВ «ЕкоКарбекс» с. Радичі Житомирського району Житомирської області.

Село Радичі розташоване в межах природно-географічної зони Українського Полісся за 15 км від міста Хорошів. Основною діяльністю підприємства є виробництво деревного вугілля піролізним методом Воно належить до 2 класу небезпеки з нормативною санітарно-захисною зоною (СЗЗ) 500 м у відповідності до додатку №3 ДСП 173-96 (Державні ..., 2019).

Дослідження впливу планової діяльності даного підприємства на флору і фауну є складовою проєкту відведення земельної ділянки для випалювання деревного вугілля на замовлення ТОВ «ЕкоКарбекс».

### Результати та їх обговорення

Досліджувана земельна ділянка – це ділянка колишнього СТОВ «Радичі», а ще раніше – колективного господарства, що використовувалась в якості машинно-тракторного парку, яка на даний час частково обнесена сітчастою огорожею. На території залишилися бетонні стовпи. Покриття проїздів – перехідного типу. На території розташовані: естакада, виробниче приміщення, майстерня, гаражі та інші нежитлові будівлі, пожежні водойми, водовідвідні канали, тощо. На земельній ділянці наявні

інженерні мережі. Місце провадження планованої діяльності не належить до територій природно-заповідного фонду.

Через тривалу експлуатацію ділянки для зберігання і ремонту сільськогосподарської техніки ґрунти виробничої ділянки ТОВ «ЕкоКарбекс» до запровадження планової діяльності були забруднені залишками паливно-мастильних матеріалів, вплив яких поширився за межі промислового майданчика, ґрунти переущільнені. Це зумовило збіднення рослинного складу в зоні впливу підприємства, зокрема в межах санітарно-захисної зони. Ще однією перешкодою для росту рослин є складування заготовленої деревини (дров) та засмічення ділянки відходами переробки деревини – залишками кори, трісками тощо.

На основі проведеного дослідження з'ясовано, що серед ідентифікованих рослин на території виробничої ділянки та за її межами в зоні впливу підприємства переважали типові для Українського Полісся види, в основному аборигенні, однак зустрічалися і чужорідні, серед яких фіксували інвазійні й агресивні види. Навколо промислового майданчика сформувалися в основному різнотравні формації, які поступово витісняються самосівними деревами та кущами. Отже, спостерігаються типові для Полісся сукцесії рослинних угруповань.

У фітоценозах навколо промислового майданчика сформувалися формації із переважанням таких видів: цикорій дикий або петрові батоги (*Cichorium intybus* L.), буги́ла лісова (*Anthriscus sylvestris* L.), жовтозілля звичайне (*Senecio vulgaris* L.) і жовтозілля весняне (*S. vernalis* Waldst. & Kit.), осот польовий (*Cirsium arvense* (L.) Scop.), люцерна жовта (*Medicago falcata* L.), конюшина польова або котики (*Trifolium arvense* L.), лобода міська (*Chenopodium urbicum* L.), синяк звичайний (*Echium vulgare* L.), полин гіркий (*Artemisia absinthium* L.) та полин звичайний (*A. vulgaris* L.), грицики звичайні (*Capsella bursa-pastoris* L.), горлянка женецька (*Ajuga genevensis* L.), морква дика (*Daucus carota* L.) (рис. 1).

Серед рудеральних видів рослин, що ростуть на території (вздовж доріг та під'їзду до проммайdanчика) ТОВ «ЕкоКарбекс», відмічені гірчак пташиний (*Polygonum aviculare* L.), жовтець їдкий (*Ranunculus acris* L.), чистотіл звичайний (*Chelidonium majus* L.), подорожник великий (*Plantago major* L.) та подорожник ланцетолистий (*P. lanceolata* L.), полин гіркий (*Artemisia*



Рис. 1. Трав'янисті фітоценози навколо промислового майданчика із випалювання деревини ТОВ «ЕкоКарбекс»

*absinthium* L.), паслін чорний (*Solanum nigrum* L.), грабельки звичайні (*Erodium cicutarium* (L.) L'Hér. ex Aiton), льоннок звичайний (*Linaria vulgaris* Mill.), лопух великий (*Arctium lappa* L.), злинка канадська (*Erigeron canadensis* L.), кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale* Wigg.), тонкопро-

мінник однорічний або злинка однорічна (*E. annuus* (L.) Pers.) (рис. 2).

У зволжених ділянках сформувалися угруповання із деревію звичайного (*Achillea millefolium* L.), агалик-трави гірської (*Jasione montana* L.), перстача прямостоячого (*Potentilla erecta* L.), конюшини



Рис. 2. Рослинні формації навколо промислового майданчика ТОВ «ЕкоКарбекс»

білої (*Trifolium repens* L.) та конюшини лучної (*T. pratense* L.), жовтецю повзучого (*Ranunculus repens* L.), лисохвосту лучного (*Alopecurus pratensis* L.), подорожника ланцетовидного (*Plantago lanceolata* L.). Окремими локалітетами зустрічаються буги́ла лісова (*Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm.), конюшина рівнинна (*T. campestre* Schreb.) та конюшина альпійська (*T. alpestre* L.), дзвоники розлогі (*Campanula patula* L.), дивина лікарська (*Verbascum phlomoides* L.), золотушник звичайний (*Solidago virgaurea* L.), кадило мелісолисте (*Melittis melissophyllum* L.), кропива дводомна (*Urtica dioica* L.) та кропива жабрієлиста (*U. galeopsifolia* Wierzb. ex Opiz.), люпин багаторічний (*Lupinus perennis* L.), звіробій звичайний (*Hypericum perforatum* L.) (рис. 3).

Безпосередньо біля корпусу підприємства, крім вище перерахованих видів, ростуть буркун білий (*Melilotus albus* Medik.), щавель горобиний (*Rumex acetosella* L.), щавель кінський (*R. confertus* Willd.) та щавель звичайний або кислий (*R. acetosa* L.).

На ділянках більш віддалених від промайданчика, а особливо на тих, що заростають деревною рослинністю, зустрічається також звіробій звичайний (*Hypericum perforatum* L.), герань лісова (*Geranium silvaticum* L.), поодинокі локалітети гадючника шестипелюсткового (*Filipendula vulgaris* Moench.), частіше гравілату місь-

кого (*Geum urbanum* L.), моркви дикої (*Daucus carota* L.), агалік-трави гірської (*Jasione montana* L.), астрагалу солодколистого (*Astragalus glycyphyllos* L.), дзвоників розлогіх (*Campanula patula* L.), суниць лісових (*Fragaria vesca* L.), хаменерію вузьколистого (*Chamaenerium angustifolium* (L.) Scop).

Також були помічені осередки адвентивних, інвазійних рослин, зокрема таких як золотушника канадського (*Solidago canadensis* L.), ваточника сирійського (*Asclepias syriaca* L.) та інших.

Частина прилеглої території, що раніше використовувалась як сільськогосподарські угіддя, а наразі входить у межі санітарно-захисної зони, заростає дерев'янистою рослинністю – деревами-самосівками різного віку. Серед них найбільше сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) та берези повислої (*Betula pendula* Roth.), підріст тополі білої (*Populus alba* L.), тополі чорної (*P. nigra* L.), осики (*P. tremula* L.), крушини ламкої (*Frangula alnus* Mill.) та бузини червоної (*Sambucus racemosa* L.).

У вологіших місцях, уздовж каналів поблизу промислового майданчика росте чагарниково-деревна рослинність, що складається з верби білої (*Salix alba* L.), верби козячої (*S. caprea* L.), верби вушкастої (*S. aurita* L.) та верби вавилонської або плакучої (*S. babylonica* L.), крушини ламкої (*Frangula alnus* Mill.). Зустрічається верба



Рис. 3. Рослинні формації за загорожею промайданчика з випалювання деревного вугілля ТОВ «ЕкоКарбекс»

попеляста (*S. cinerea* L.), груша звичайна (*Pyrus communis* L.) та яблуня лісова (*Malus silvestris* (L.) Mill.).

Серед представників фауни найчисленнішими є комахи, зокрема, чорна падальна муха (*Phormia regina* Mg.) та муха домова (*Muscina stabulans* Fallen), метелики (совка вербова (*Colobochyla salicalis* (Denis & Schiffermüller)), бузинова вогнівка (*Phlyctaenia coronata* Hüfnagel), вогнівка біло-жовта лугова (*Paratalanta pandalis* Hübner), жуличка зерниста (*Carabus granulatus* Linnaeus), шершень звичайний (*Vespa crabro* Linnaeus), коник сірий (*Desticus verrucivorus* Linnaeus), джміль земляний (*Bombus terrestris* var. *Cryptarum* Linnaeus), комар звичайний (*Culex pipiens* L.), оса звичайна (*Vespa vulgaris* L.), хрущ травневий західний (*Melolontha melolontha* L.), бідонога садова мурашка (*Lasius alienus* (Foerster)). Безпосередньо у складованій деревині на території проммайданчика виявлено заболонник плодовий (*Scolytus mali* (Bechstein)), зерновий шашіль (*Rhizopertha dominica* (Fabricius)).

Були помічені також безхребетні: слизняк шляховий рудий (*Agriolimax subfuscus* (Draparnaud)), слизняк (польовий) сітчастий (*Deroceras reticulatum* (O.F.Müller)), равлик великий виноградний (*Helix pomatia* L.).

Серед ссавців на території проммайданчика іноді відмічали мишу польову

(*Apodemus agrarius* (Pallas)) та лісову (*Sylvaeus sylvaticus* L.), пацюка сірого (*Rattus norvegicus* (Berkenhout)), а за межами площадки – їжака європейського (*Erinaceus europaeus* Linnaeus) та крота європейський (*Talpa europaea* L.).

Серед земноводних були ідентифіковані жаба гостроморда (*Rana arvalis* (Nilsson)), жаба ставкова (*Pelophylax lessonae* (Camerano)), ропуха сіра (*Bufo bufo* Linnaeus), із плазунів – ящірка прудка (*Lacerta agilis* Linnaeus).

Орнітофауна була представлена такими видами, як шпак звичайний (*Sturnus vulgaris* L.), горобець польовий (*Passer montanus* L.), трав'янка лучна (*Saxicola rubetra* L.), ластівка сільська (*Hirundo rustica* L.), горобець хатній (*Passer domesticus* L.), голуб сизий (*Columba livia* Gmelin), коноплянка (*Acanthis cannabina* L.), сорока (*Pica pica* L.), ворона сіра (*Corvus cornix* L.).

У санітарно-захисній зоні промислового майданчика підприємства ТОВ «ЕкоКарбекс» у межах 500 м були виявлені навіть деякі види грибів, типових для Житомирського Полісся. Серед них підосичник червоний (*Leccinum aurantiacum* (Bull.) Gray) та красноголовець білоногий (*L. albotipitatum* den Bakker & Noordel.), сиріжка березова (*Russula betularum* (Hora) та сиріжка Майра (*R. mairei* Singer) (рис. 4).



Рис. 4. Осиковик білоногий та сиріжка березова за межами промислового майданчика підприємства



У цілому різні види тварин поширені на дослідній території досить нерівномірно. Це обумовлено відмінностями умов життя на різних її ділянках. Сюди належать особливості рельєфу, наявність поверхневих та внутрішніх вод, особливості будови ґрунту, рослинності, а також наявність інших представників фауни. На досліджуваній території не знайдено рідкісних і зникаючих видів рослин, грибів і тварин.

#### Висновки

На території виробничого майданчика підприємства з випалювання деревного вугілля ТОВ «ЕкоКарбекс» у с. Радичі Житомирського району Житомирської області екологічно цінних, рідкісних та зни-

каючих видів рослин і тварин не виявлено.

Видове різноманіття рослин промайданчика та прилеглих територій представлене типовими видами для Українського Полісся, значна частка яких належить до інвазійних й агресивних.

На ділянках, віддалених від загорожі підприємства в межах санітарно-захисної зони (500 м), спостерігали збільшення видового різноманіття як представників рослинного, так і тваринного світу. Видів, що потребують охорони, не виявлено.

В угрупованнях за межами промислового майданчика переважають типові для зони Українського Полісся сукцесії – заростання чагарниково-дерев'янистою рослинністю.

#### Список використаної літератури

Барановський В.А. Україна. Еколого-географічний атлас : атлас-монографія. Київ : Варта, 2006. 220 с.

Визначник рослин України : учбовий посібник / А.І. Барбарич, Є.М. Брадїс, О.Д. Вісюлін та ін.; відп. ред. Д.К. Зеров. Вид. 2-ге, випр. і допов. Київ : Урожай, 1965. 875 с.

Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 19 червня 1996 р. № 173. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text> (дата звернення: 07.08.2024).

Михайловський Л.В. Макроміцети Полісся України : визначник. Івано-Франківськ, 2010. 652 с.

Орлов О.О. Рідкісні та зникаючі види судинних рослин Житомирської області. Житомир : Волинь, 2005. 296 с.

Перелік видів тварин, що заносяться до Червоної книги України (тваринний світ): Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 19 січня 2021 року № 29. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0260-21> (дата звернення 07.08.2024).

Перелік видів рослин та грибів, що заносяться до Червоної книги України (рослинний світ) : Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 15 лютого 2021 року № 111. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0370-21> (дата звернення 07.08.2024).

Chase M.W., Christenhusz M.J.M., Fay M.F. (ed.) An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2016. Vol. 181. P. 1–20. <https://doi.org/10.1111/boj.12385>.

Vincent H. Resh and Ring T. Cardé. *Encyclopedia of Insects*. Elsevier. Academic Press, 2009. 1132 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374144-8.X0001-X>.

#### References

Baranovskyi, V.A. (2006). *Ukraina. Ekolooho-heohrafichnyi atlas Ukrainy* [Ukraine. Ecological and geographical atlas of Ukraine]. Kyiv : Varta [in Ukrainian].

Vyznachnyk roslын Ukrainy [Identifier of plants of Ukraine] (1965) / Ed. Barbarych, A.I., Bradis, Ye.M., Visiulin, O.D., Volodchenko, V. S., Dobrochaieva, D.M., & Khrzhanovskyi, V.H. (2 nd. ed.). Kyiv : Urozhai [in Ukrainian].

Derzhavni sanitarni pravyla planuvannya ta zabudovy naselenykh punktiv : Nakaz Ministerstva okhorony zdorov'ya Ukrayiny vid 19 chervnya 1996 r. № 173. [State sanitary rules for planning and development of settlements: Order of the Ministry of Health of Ukraine dated June 19, 1996 No. 173]. [Electronic resource]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text> (access date 07.08.2024) [in Ukrainian].

Mykhailovskyi, L.V. (2010). *Makromitsety Polissia Ukrainy* [Macromycetes of Polissia of Ukraine]. Ivano-Frankivsk [in Ukrainian].

Orlov, O.O. (2005). Ridkisini ta znykaiuchi vydy sudynnykh roslyn Zhytomyrskoi oblasti [Rare and endangered species of vascular plants of Zhytomyr region]. Zhytomyr : Volyn [in Ukrainian].

Perelik vydiv tvaryn, shcho zanosyatsia do Chervonoi knyhy Ukrainy (tvarynnyi svit). Nakaz Ministerstva zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy № 29. [List of animal species included in the Red Book of Ukraine (animal world). Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine № 29]. (2021). [Electronic resource]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0260-21> (access date 07.08.2024) [in Ukrainian].

Perelik vydiv roslyn ta hrybiv, shcho zanosyatsia do Chervonoi knyhy Ukrainy (roslynnyi svit). Nakaz Ministerstva zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy № 111. [List of species of plants and mushrooms included in the Red Book of Ukraine (plant life). Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine № 111]. (2021). [Electronic resource]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0370-21> (access date 07.08.2024) [in Ukrainian].

Chase, M.W., Christenhusz, M.J.M., & Fay, M.F. (Ed.) (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181, 1–20. <https://doi.org/10.1111/boj.12385> [in English].

Vincent, H. (2009). Resh and Ring T. Cardé. *Encyclopedia of Insects*. Elsevier. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374144-8.X0001-X> [in English].

Отримано: 12.08.2024

Прийнято: 30.08.2024



УДК 502+591.5

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.34>

## ВПЛИВ СКИДУ ЗВОРОТНИХ ВОД ШАМРАЇВСЬКОГО РОДОВИЩА ГРАНІТІВ НА ФІТОРІЗНОМАНІТТЯ ДОЛИНИ РІЧКИ РОСТАВИЦЯ

І. В. Хом'як<sup>1</sup>, І. П. Онищук<sup>2</sup>, О. В. Медвідь<sup>3</sup>, І. Г. Пацева<sup>4</sup>, О. І. Хом'як<sup>5</sup>

*Стаття присвячена взаємозв'язку між скидами зворотних вод під час видобування граніту із Шамраївського родовища та фітоценотичним різноманіттям фрагменту долини річки Роставиця. Метою статті є встановлення впливу скиду зворотних вод Шамраївського родовища гранітів на фіторізнноманіття долини річки Роставиця. Відповідно до мети були поставлені такі завдання: класифікувати рослинність долини річка Роставиця в районі скиду зворотних вод із Шамраївського родовища гранітів; визначити різноманітність рослинних угруповань долини річки Роставиця в районі скиду зворотних вод із Шамраївського родовища гранітів. встановити вплив скиду зворотних вод Шамраївського родовища гранітів на фіторізнноманіття долини річки Роставиця. Матеріалами дослідження є стандартні геоботанічні описи, створені напівстаціонарним та маршрутно-експедиційним способами. Описана рослинність класифікована відповідно до сучасних вимог школи Браун Бланке. У результаті дослідження встановлено, що рослинність*

<sup>1</sup> кандидат біологічних наук, доцент,  
доцент кафедри екології та географії  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)  
e-mail: khomyakivan@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-0080-0019

<sup>2</sup> кандидат біологічних наук, доцент,  
доцент кафедри екології та географії  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)  
e-mail: irinashpin@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-2847-8570

<sup>3</sup> аспірант,  
асистент кафедри екології та природоохоронних технологій  
(Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир)  
e-mail: ke\_mov@ztu.edu.ua  
ORCID: 0000-0002-2368-712X

<sup>4</sup> доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій  
(Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир)  
e-mail: rig@ztu.edu.ua  
ORCID: 0000-0002-6572-681X

<sup>5</sup> аспірант Інституту маркшейдерії та геодезії  
(Фрейбергський Університет гірництва і технологій, м. Фрейберг, Німеччина)  
e-mail: oxanakhomiak@gmail.com  
ORCID: 0009-0006-6764-6545

досліджуваної території належить до 20 класів, 31 порядок, 49 союзів, 97 асоціацій, визначених за системою Браун Бланке. Найвище фітоценотичне різноманіття мають класи рослинних угруповань *Phragmiti-Magnocaricetea* (16%), *Molinio-Arrhenatheretea* (15%) та *Artemisietea vulgaris* (12%). Фітоценотичне різноманіття досліджуваного фрагменту долини річки Роставиці відносно високе. Його частка, порівняно із рослинністю усєї долини річки Рось, куди впадає Роставиця, становить 91% щодо класів рослинності, 84% порядків, 84% союзів та 73% асоціацій. Рослинність долини річки Роставиця в районі Шамрайвського родовища гранітів формує 8 раритетних оселищ занесених до 4 Резолюції Бернської конвенції. Природна водна рослинність у водоймі відстійнику знижує рівень нітровоїмісних сполук, утворених в результаті поглинання водою залишків вибухових речовин. Вплив скидів зворотних вод на довкілля в цілому і на фітоценотичне різноманіття зокрема залежить від технології видобування корисних копалин.

**Ключові слова:** фітоценози, рослинність, ксерофітизація, кар'єр, викиди.

## THE IMPACT OF THE DISCHARGE OF RETURN WATER FROM THE SHAMRAYIV GRANITE DEPOSIT ON THE PHYTODIVERSITY OF THE ROSTAVITSA RIVER VALLEY

I. V. Khomiak, I. P. Onyshchuk, O. V. Medvid, I. H. Patseva, O. I. Khomiak

*In the article, we consider the relationship between dump of return water during the extraction of granite from the Shamrayiv deposit and the phytocenotic diversity of the fragment of the Rostavitsa river valley. The purpose of the article is to determine the impact of the dump of return water from the Shamrayiv granite deposit on the phytocenotic diversity of the Rostavitsa river valley. In accordance with the goal, the following tasks were set: to classify the vegetation of the valley of the Rostavitsa River in the area of the dump of return water from the Shamrayiv granite deposit; to determine the diversity of plant communities in the valley of the Rostavitsa River in the area of the dump of return water from the Shamrayiv granite deposit; to determine the impact of the dump of return waters from the Shamrayiv granite deposit on the phytocenotic diversity of the Rostavitsa river valley. The research materials are standard geobotanical descriptions created by semi-stationary and route-expedition methods. The described vegetation is classified according to the modern requirements of the Braun Blanquet school. As a result of the study, it was established that the vegetation of the studied area belongs to 20 classes, 31 orders, 49 unions, and 97 associations defined according to the Braun Blanquet system. *Phragmiti-Magnocaricetea* (16%), *Molinio-Arrhenatheretea* (15%) and *Artemisietea vulgaris* (12%) plant groups have the highest phytocenotic diversity. Phytocenotic diversity of the studied fragment of the Rostavitsa river valley is relatively high. Its share, compared to the vegetation of the entire valley of the Ros river, into which the Rostavitsa flows, is 91% in terms of vegetation classes, 84% of orders, 84% of unions, and 73% of associations. The vegetation of the valley of the Rostavitsa River in the area of the Shamrayiv granite deposit forms 8 rare habitats listed in Resolution 4 of the Berne Convention. Natural aquatic vegetation in the sump reservoir reduces the level of nitrogen-containing compounds formed as a result of the absorption of explosive residues by water. The impact of dumps of return water dumps on the environment as a whole and on phytocenotic diversity in particular depends on the mineral extraction technology.*

**Key words:** phytocenosis, vegetation, xerophytization, quarry, emissions.

### Вступ

Концепція сталого розвитку передбачає заходи, які, водночас ведуть до подолання бідності та до зменшення антропогенного впливу на довкілля. Обидва ці процеси є взаємопов'язані і відставання в одному із них неодмінно призведе до відставання в іншому. Разом із тим, утримування такого балансу – це складна задача, яка потребує всебічного охоплення кожного конкретного випадку антропогенного впливу та його системного аналізу.

Під час видобування корисних копалин, роботи ведуться нижче кількох водо-

носних горизонтів. Це може призводити потрапляння підземних вод у зону виробітку. В умовах добування корисних копалин відкритим способом до них додаються і атмосферні опади. Накопичену воду постійно відкачують, формуючи зворотні води. У більшості випадків, перед скидом у річкову систему, ці води проходять через відстійник. Інші заходи щодо її очистки найчастіше за все не передбачені. Це несе ризики поширення забруднень із зони видобутку в річкову систему. Саме тому передбачається система моніторингу, де регулярно визначаються показники якості води

в річці до місця скиду, після місця скиду та самих зворотних вод (Bischel et al., 2013).

Разом із тим сучасна ситуація характеризується глобальними змінами клімату, які ведуть за собою зміни режиму поверхневих вод (річок, струмків, боліт та ставків) та верхніх ґрунтових водоносних горизонтів. Скиди зворотних вод лише частково напряму компенсують втрати ґрунтових вод але мають позитивний опосередкований вплив на блокування кліматичних змін. Поповнюючи дефіцит води в малих річках, вони підтримують функціонування екосистем річкових долин. У свою чергу ці екосистеми позитивно впливають на мікроклімат та на верхні ґрунтові горизонти (Helgeson, 2009). На великих масштабах вони пом'якшують мікроклімат та знижують негативні впливи глобальних кліматичних змін. Особливостями сучасних змін клімату на території Полісся є чергування тривалої посухи із рекордними температурами із короткочасними зливами. У такому випадку, долини річок із природною рослинністю сповільнюють стік дощових вод і стабілізують ситуацію. Крім того, їхня рослинність за рахунок регулювання нагрівання земної поверхні та сповільнення випаровування впливає на мікро- та мезоклімат. Така ситуація викликає дискусію щодо позитивного та негативного впливу скиду зворотних вод на річкові системи та довкілля в цілому.

Важливо мати загальну регіональну картину про те, як реагують екосистеми або їхні окремі компоненти на скид зворотних вод (Тимченко і Хом'як, 2019). З цією метою варто охопити дослідженнями, як північні частини центрального Полісся, так і ділянки Лісостепу, що знаходяться із ним по сусідству на півдні. Адже, відомо, що глобальні зміни клімату, які на території Полісся проявляються у вигляді його ксерофітизації, носять широтний характер. З цієї причини однією із моніторингових точок став кар'єр в районі Шамраївського родовища гранітів, розташованого на півночі Правобережного Лісостепу.

Метою статті є встановлення впливу скиду зворотних вод Шамраївського родовища гранітів на фіторізноманіття долини річки Роставиця.

Відповідно до мети були поставлені такі завдання:

Класифікувати рослинність долини річка Роставиця в районі скиду зворотних вод із Шамраївського родовища гранітів.

Визначити різноманітність рослинних угруповань долини річки Роставиця в районі скиду зворотних вод із Шамраївського родовища гранітів.

Встановити вплив скиду зворотних вод Шамраївського родовища гранітів на фіторізноманіття долини річки Роставиця.

### **Матеріал і методи**

Матеріалами дослідження є стандартні геоботанічні описи, зроблені в долині річки Роставиця в районі скиду зворотних вод із Шамраївського родовища гранітів. Польові дослідження проводилися напівстаціонарним способом (Якубенко та ін., 2020). Для дослідження було вибрано фрагмент долини вищеназваної річки віддалений від місця скиду на 500 метрів.

Назви видів наводяться відповідно до чек-листа за 1999 рік (Mosyakin & Fedoronchuk, 1999). Рослинність була класифікована за еколого-флористичною класифікацією школи Браун Бланке (Дубина та ін., 2019). Рослинні угруповання визначалися через створення стандартних геоботанічних описів та їхньої обробки із використанням програми TURBOVEG for Windows (Hennekens, 2009). Показники факторів середовища визначалися за допомогою синфітоіндикаційного методу із застосуванням пакету програм «Simargl 1.12» (Хом'як та ін., 2020).

Для оцінки якості зворотних вод використано дані аналізу лабораторії компанії ТОВ «Еко-МБ». Проби води робилися в річці Роставиця вище і нижче від місця скиду, в водоймі відстійнику, в кар'єрі та із потоків у стіні кар'єру.

Фітоценотичне різноманіття класів рослинних угруповань визначалися за часткою, яку займають їхні асоціації відносно загального числа асоціацій досліджуваної території.

### **Результати**

Рослинність досліджуваної території належить до 20 класів, 31 порядок, 49 союзів, 97 асоціацій, визначених за системою Браун Бланке (Westhoff, Maarel, 1973). Найвище фітоценотичне різноманіття мають класи рослинних угруповань *Phragmiti-Magnocaricetea* (16%), *Molinio-Arrhenatheretea* (15%) та *Artemisietea vulgaris* (12%) (табл. 1). Перші два класи є типовою рослинністю річкової долини, а останній рудеральними угрупованнями, пов'язаними із діяльністю кар'єру та рекреацією.

На досліджуваній території спостерігаємо кілька типів водойм. Це безпосередньо

Таблиця 1

Частка фітоценотичного різноманіття в класах рослинних угруповань долини річки Роставиця в районі Шамраївського родовища гранітів

Клас рослинних угруповань	Частка фітоценотичного різноманіття (в процентах)
Phragmiti-Magnocaricetea	16
Molinio-Arrhenatheretea	15
Artemisietea vulgaris	12
Robinietea	9
Potamogetea	7
Plantagenetea majoris	6
Stellarietea mediae	6
Trifolio-Geranietea	5
Carpino-Fagetea sylvaticae	4
Bidentetea tripartiti	3
Epilobietea angustifolii	3
Polygono arenastri-Poëtea annuae	3
Salicetea purpurea	3
Alnetea glutinosae	2
Lemnetea	2
Sedo-Scleranthetetea	2
Calluno-Ulicetea	1
Franguletea	1
Galio-Urticetea	1
Vaccinio-Piceetea	1

Таблиця 2

Показники якості проб води в районі Шамраївського родовища гранітів

Показники якості проб води	Вода із зумпфа	Вода із відстійника	Скид кар'єрних вод	р. Роставиця, вище скиду, 500м	р. Роставиця, нижче скиду, 500м
Водневий показник (од.рН)	6,3	6,6	6,65	7,16	7,11
Азот амонійний (мг/дм <sup>3</sup> )	0,48	0,53	0,54	0,64	0,66
Нітриди (мг/дм <sup>3</sup> )	0,17	0,2	0,21	0,185	0,19
Нітрати (мг/дм <sup>3</sup> )	14,2	12,6	10,5	1,12	1,2
Залізо загальне (мг/дм <sup>3</sup> )	0,094	0,11	0,1	0,27	0,26
Фосфати (мг/дм <sup>3</sup> )	0,088	0,095	0,105	0,31	0,315
ХСК (мгО/дм <sup>3</sup> )	22,6	24	24,4	30,7	31,6
Хлориди (мг/дм <sup>3</sup> )	63,9	54,8	57,6	42,6	45,5
Сульфати (мг/дм <sup>3</sup> )	56,4	59,3	56	51,3	50,8
Завислі речовини (мг/дм <sup>3</sup> )	5,9	6,2	7,3	8,9	9,1
Сухий залишок (мг/дм <sup>3</sup> )	340	365	351	328	335
Нафтопродукти (мг/дм <sup>3</sup> )	"_"	"_"	"_"	"_"	"_"
БСК-5 (мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> )	3,02	3,08	3,12	3,04	3,12
Кольоровість	"_"	"_"	"_"	35	35

сама річка Роставиця, водойма-відстійник та канал, що її з'єднує із руслом річки, водойма для збору зворотних вод на дні кар'єру та струмки, що пробиваються крізь стіни кар'єру. Аналіз якості води, яка скидається із зони видобутку, вказує на те, що її якість досить висока. Єдиними перевищеннями встановлених ГДК є нітرو-вмісні сполуки (солі амонію, нітриту та нітрата). Їхні показники відповідно 0,54; 0,21; та 10,5 мг/дм<sup>3</sup> при ГДК 0,2; 0,08; та 5,5 мг/дм<sup>3</sup>. При цьому, вміст солей амонію та нітриту нижчий або практично рівний тому, який присутній в річці Роставиця за 500 м вище скиду (табл. 2). Перевищення нітровмісних сполук пов'язане із способом проведення добування граніту. Тут для цього використовуються великі об'єми вибухівки, яка традиційно пов'язана із нітроорганікою або іншими нітровмісними сполуками. Найбільш поширеною в таких випадках є вибухівка із групи астролітів, що є сумішшю перхлорату гідразину та нітрату гідразину. Концентрація нітровмісних сполук у повітрі після вибуху досить висока. Вони вбираються в воду, спричиняючи її нітрифікацію (Хом'як та ін., 2023).

Водойма на дні кар'єру практично позбавлена облігатних угруповань макрофітів. Основним її джерелом є опади та вода, яка просочується крізь тріщини в основних породах. На цих джерелоподібних потоках поселяються крупні угруповання ціанобактерій, чому сприяє нітрифікація води через адсорбцію із повітря нітровмісних сполук, утворених під час вибухів.

Угруповання водних макрофітів представлені двома класами *Lemnetea* та *Potamogetea* (табл. 3). Перший клас представлений рослинністю закритих від вітру невеликих заток. Він складається із асоціацій *Lemnetum minoris* та *Spirodeletum polyrhizae*. Другий клас займає більші площі та має вище фітоценотичне різ-

номаніття. Сюди входять такі асоціації рослинних угруповань: *Ceratophylletum submersi*, *Numpharo lutei-Nymphaetum albae*, *Potametum natantis*, *Potametum crispi*, *Elodeetum canadensis*, *Myriophylletum spicati*, *Potametum lucentis*. Найбільші площі займають асоціації *Numpharo lutei-Nymphaetum albae* та *Elodeetum canadensis*. Вони займають, як прибережну частину ставка та всю площу водойми відстійника, так і мілководдя (глибиною менше 2 м) посеред відкритого плеса.

Прибережно-водна рослинність займає береги та мілководдя усіх вищезгаданих водойм за межами виробітку. Це рослинність класу *Phragmiti-Magnocaricetea* (табл. 4). Вона багаточисельна, займає значні площі та представлена в основному тривіальними угрупованнями. Тут зустрічаються асоціації рослинних угруповань *Glycerietum fluitantis*, *Oenantheum aquaticae*, *Eleocharitetum palustris*, *Butomo-Sagittarietum sagittifoliae*, *Alopecuro-Alismatetum plantagininaquaticae*, *Phragmitetum australis*, *Typhetum angustifoliae*, *Typhetum latifoliae*, *Iridetum pseudocaori*, *Sparganietum erecti*, *Glycerietum maximae*, *Caricetum elatae*, *Caricetum vesicariae*, *Caricetum acutiformis*, *Carici acutae-Glycerietum maximae*, *Carici-Rumicion hydrolapatii*. Найбільші площі займають фітоценози асоціації *Phragmitetum australis*, *Typhetum angustifoliae*, *Typhetum latifoliae*, *Iridetum pseudocaori*, *Glycerietum maximae*, *Caricetum vesicariae*, *Caricetum acutiformis*, *Carici acutae-Glycerietum maximae*.

Екосистеми злаковників представлені трьома класами рослинних угруповань *Molinio-Arrhenatheretea*, *Trifolio-Geranietea* та окремими асоціаціями класу *Epilobietea angustifolii*. Найбільші площі злаковників та найвище фітоценотичне біорізноманіття належить класу *Molinio-Arrhenatheretea* (табл. 5). На досліджуваній території було визначено такі його асоціації: *Agrostio*

Таблиця 3

Синтаксономія угруповань водної рослинності долини річки Роставиця в районі Шамраївського родовища гранітів

Класи рослинних угруповань	Порядки рослинних угруповань	Союзи рослинних угруповань	Асоціації рослинних угруповань
<i>Lemnetea</i>	<i>Lemnetalia minoris</i>	<i>Lemnion minoris</i>	<i>Lemnetum minoris</i> , <i>Spirodeletum polyrhizae</i>
<i>Potamogetea</i>	<i>Potamogetalia</i>	<i>Ceratophyllion demersi</i> , <i>Nymphaeion</i> , <i>Potamogion</i>	<i>Ceratophylletum submersi</i> , <i>Numpharo lutei-Nymphaetum albae</i> , <i>Potametum natantis</i> , <i>Potametum crispi</i> , <i>Elodeetum canadensis</i> , <i>Myriophylletum spicati</i> , <i>Potametum lucentis</i>

Таблиця 4

Синтаксономія угруповань прибережно-водної рослинності долини річки Росташиця в районі Шамраївського родовища гранітів

Класи рослинних угруповань	Порядки рослинних угруповань	Союзи рослинних угруповань	Асоціації рослинних угруповань
<i>Phragmiti-Magnocaricetea</i>	<i>Nasturcio-Glycerietalia, Oenathetalia aquatica, Phragmitetalia, Magnocaricetalia</i>	<i>Glycerio-Sparganion fluitans, Eleocharito palustris-Sagittarion sagittifoliae, Phragmition, Magnocaricion elatae, Magnocaricion gracilis</i>	<i>Glycerietum fluitantis, Oenanthetum aquaticae, Eleocharitetum palustris, Butomo-Sagittaritetum sagittifoliae, Alopecuro-Alismatetum plantaginisaquaticae, Phragmitetum australe, Typhetum angustifoliae, Typhetum latifoliae, Iridetum pseudocaori, Sparganietum erecti, Glycerietum maximae, Caricetum elatae, Caricetum vesicariae, Caricetum acutiformis, Carici acutae-Glycerietum maximae, Carici-Rumicion hydrolapatii</i>

Таблиця 5

Синтаксономія угруповань лучної рослинності долини річки Росташиця в районі Шамраївського родовища гранітів

Класи рослинних угруповань	Порядки рослинних угруповань	Союзи рослинних угруповань	Асоціації рослинних угруповань
<i>Molinio-Arrhenatheretea</i>	<i>Galieta verii, Arrhenatheretalia elatioris, Molinetalia</i>	<i>Agrostion vinealis, Arrhenatherion elatioris, Cynosurion cristati, Mentho longifoliae-Juncion inflexi, Calthion palustris, Filipendion ulmariae</i>	<i>Agrostio vinealis-Calamagrostietum epigeioris, Agrostietum vinealis-tenuis, Carici praecoci-Alopecuretum pratensis, Poo angustifoliae-Arrhenatheretum elatiori, Bromopsidetum inermis, Potentillo argenteae-Poetum angustifoliae, Achillea submiefolium-Dactyletum glomeratae, Festuco pratensis-Deschampsietum caespitosae, Poetum pratensis, Trifolio-Festucetum rubrae, Lolietum perennis, Juncetum effusi, Scirpetum sylvatici, Lysimachio-Filipenduletum, Veronico-Euphorbietum</i>

*vinealis-Calamagrostietum epigeioris, Agrostietum vinealis-tenuis, Carici praecoci-Alopecuretum pratensis, Poo angustifoliae-Arrhenatheretum elatiori, Bromopsidetum inermis Shvergunova, Potentillo argenteae-Poetum angustifoliae, Achillea submiefolium-Dactyletum glomeratae, Festuco pratensis-Deschampsietum caespitosae, Poetum pratensis, Trifolio-Festucetum rubrae, Lolietum perennis, Juncetum effusi, Scirpetum sylvatici, Lysimachio-Filipenduletum, Veronico-Euphorbietum.*

Найбільші площі займають сухуваті луки порядку *Galieta verii*. Деякі менші перезволожені луки порядку *Molinetalia* і ще менші *Arrhenatheretalia elatioris*. Це обумовлено тим, що мезогігрофітні та мезофітні еко-топи активно заростають деревно-чагар-

никовою рослинністю, яка витісняє угруповання злаковників.

Оскільки, злаковники активно заростають деревною та чагарниковою рослинністю, то в їхніх екотонах утворюються узлісні угруповання класу *Trifolio-Geranietea* (табл. 6). Це асоціації *Agrimonio eupatoriae-Trifolietum medii, Geranio-Trifolietum alpestris, Trifolio medii-Astragaletum ciceris, Sedo maxi-Peucedanetum oreoselini, Veronico officinalis-Hieracietum murorum.*

На більш пізніх стадіях відновлення рослинності (автогенної сукцесії) зустрічаються рослинні угруповання класів *Epilobietea angustifoliae* та *Calluno-Ulicetea* (табл. 7). У першому випадку це асоціації *Rubio-Chamaenerietum angustifoliae, Rubetum idaei, Calamagrostietum epigii*. Їхні площі відносно



Таблиця 6

Синтаксономія угруповань узлісної рослинності долини річки Ростаவிця в районі Шамраївського родовища гранітів

Класи рослинних угруповань	Порядки рослинних угруповань	Союзи рослинних угруповань	Асоціації рослинних угруповань
Trifolio-Geranietea	Origanetalia, Melampyro-Holcetalia	Trifolion medii, Melampyrion pratensis, Teucrion scorodoniae	Agrimonio eupatoriae-Trifolietum medii, Geranio-Trifolietum alpestris, Trifolio medii-Astragaletum ciceris, Sedo maxi-Peucedanetum oreoselini, Veronico officinalis-Hieracietum murorum

Таблиця 7

Синтаксономія угруповань післялісової та чагарничкової рослинності долини річки Роставиця в районі Шамраївського родовища гранітів

Класи рослинних угруповань	Порядки рослинних угруповань	Союзи рослинних угруповань	Асоціації рослинних угруповань
Calluno-Ulicetea	Vaccinio myrtilli-Genistetalia pilosae	Calluno-Genistion pilosae	Calluno-Genistetum
<i>Epilobietea angustifolii</i>	Galeopsio-Senecionetalia sylvatici	Epilobion angustifolii	<i>Rubo-Chamaenerietum angustifolii</i> , <i>Rubetum idaei</i> , <i>Calamagrostietum epigii</i>

незначні. Клас *Calluno-Ulicetea* представлений єдиною асоціацією *Calluno-Genistetum*, але вона займає великі площі біля підніжжя інсольованих пагорбів.

На добре інсольованих ділянках із бідним або сильно порушеним ґрунтом зустрічаються пустищні угруповання класу *Sedo-Scleranthetetea*. Це асоціації *Sedo*

*acri-Dianthetum hypanicii*, *Thymo pulegioidis-Sedetum sexangularis* (табл. 8).

У процесі відновлення деревної рослинності в мезофітних умовах найчастіше формуються лісо-чагарникові угруповання класу *Robinietea* (табл. 9). Вони утворюються як аборигенними так і інвазійними видами. За площею частіше за все зустрі-

Таблиця 8

Синтаксономія угруповань псамофітної та нескельної рослинності долини річки Роставиця в районі Шамраївського родовища гранітів

Класи рослинних угруповань	Порядки рослинних угруповань	Союзи рослинних угруповань	Асоціації рослинних угруповань
Sedo-Scleranthetetea	Alysso alyssoidis-Sedetalia, Sedo-Scleranthetalia	Alysso alyssoidis-Sedion, Hyperico perforati-Scleranthion perennis	Sedo acri-Dianthetum hypanicii, Thymo pulegioidis-Sedetum sexangularis

Таблиця 9

Синтаксономія угруповань рослинності похідних лісів долини річки Роставиця в районі Шамраївського родовища гранітів

Класи рослинних угруповань	Порядки рослинних угруповань	Союзи рослинних угруповань	Асоціації рослинних угруповань
<i>Robinietea</i>	<i>Cheledonio-Robinietalia</i> , <i>Sambucetalia racemosae</i>	<i>Balloto nigrae-Robinion pseudoacaciae</i> , <i>Chelidonio-Acerion negundo</i> , <i>Cheledonio-Robinion</i> , <i>Geo-Acerion platanoidis</i> , <i>Sambuco-Salicion capreae</i>	<i>Cheledonio-Pinetum sylvestris</i> , <i>Cheledonio-Aceratum negundi</i> , <i>Cheledonio-Robinietum</i> , <i>Impatienti parviflorae-Robinietum pseudoacaciae</i> , <i>Sambuco nigrae-Robinietum</i> , <i>Geo-Aceratum platanoidis</i> , <i>Sambucetum racemosae</i> , <i>Salicetum capreae</i>

чається другий варіант. Тут зустрічаються такі асоціації: *Cheledonio-Pinetum sylvestris*, *Cheledonio-Aceratum negundi*, *Cheledonio-Robinetum*, *Impatienti parviflorae-Robinetum pseudoacaciae*, *Sambuco nigrae-Robinetum*, *Geo-Aceretum platanoidis*, *Sambucetum racemosae*, *Salicetum capreae*.

У прибережній зоні зустрічаються рослинні угруповання класів *Salicetea purpurea*, *Alnetea glutinosae* та *Franguletea*. Рослинність класу *Salicetea purpurea* поширена, як в річковій заплаві, так і по периметру кар'єру (табл. 10). Це асоціації *Salicetum albae*, *Salici-Populetum* та *Populetum nigro-albae*.

У прируслівій зоні зустрічаються угруповання класу *Alnetea glutinosae*, представлена двома асоціаціями *Ribeso nigri-Alnetum* та *Carici acutiformis-Alnetum* (табл. 11).

Місцями вздовж русла зустрічаються верболози класу *Franguletea* (табл. 12). Це асоціація *Salicetum pentandro-cinereae*. Часто різні види верби витісняються інвазійним кленом ясенелистим *Acer negundo* L.

З заходу до зони виробітку прилягають соснові та широколистяні ліси. Соснові ліси сильно синатропізовані через високе рекре-

аційне навантаження в районі старого кар'єру. Їхня флора насичена елементами широколистяних лісів, інвазійними видами (*Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia* L. та ін.) та рудеральними видами. Ці ліси віднесено до асоціації *Veronico incanae-Pinetum* класу *Vaccinio-Piceetea* (табл. 13).

Більш поширеними є широколистяні ліси класу *Carpino-Fagetea sylvaticae* (табл. 14). Тут нами описані асоціації рослинних угруповань *Ficario-Ulmetum minoris*, *Tilio cordatae-Carpinetum*, *Melampyro nemorosi-Carpinetum* та *Stellario holosteae-Carpinetum betuli*.

Синантропна рослинність досить різноманітна. На сході розташовані агроєкосистеми із сегетальними угрупованнями класу *Stellarietea mediae* (табл. 15). Це асоціації рослинних угруповань *Centaureo-Aperetum spicae-venti*, *Violo arvensis-Centaureetum cyani*, *Aperospicae-venti-Papaveretum rhoeadis*, *Aphano-Matricarietum*, *Echinochloo-Setarietum*, *Brometum tectorum*. Сільськогосподарські угіддя, в порушення Водного кодексу, наближаються до річки на 3–4 метри, що може стати причиною забруднення води та замулення русла.

Таблиця 10

Синтаксономія рослинних угруповань прибережних вербових лісів долини річки Роставиця в районі Шамраївського родовища гранітів

Класи рослинних угруповань	Порядки рослинних угруповань	Союзи рослинних угруповань	Асоціації рослинних угруповань
<i>Salicetea purpurea</i>	<i>Salicetalia purpureae</i>	Salicion albae	<i>Salicetum albae</i> , <i>Salici-Populetum</i> , <i>Populetum nigro-albae</i>

Таблиця 11

Синтаксономія угруповань прибережно-водної рослинності долини річки Роставиця в районі Шамраївського родовища гранітів

Класи рослинних угруповань	Порядки рослинних угруповань	Союзи рослинних угруповань	Асоціації рослинних угруповань
<i>Alnetea glutinosae</i>	<i>Alnetalia glutinosae</i>	Alnion glutinosae	<i>Ribeso nigri-Alnetum</i> , <i>Carici acutiformis-Alnetum</i>

Таблиця 12

Синтаксономія угруповань рослинності прибережних чагарників долини річки Роставиця в районі Шамраївського родовища гранітів

Класи рослинних угруповань	Порядки рослинних угруповань	Союзи рослинних угруповань	Асоціації рослинних угруповань
<i>Franguletea</i>	<i>Salicetalia auritae</i>	Salicion cinereae	<i>Salicetum pentandro-cinereae</i>

Таблиця 13

Синтаксономія угруповань рослинності соснових лісів долини річки Роставиця в районі Шамраївського родовища гранітів

Класи рослинних угруповань	Порядки рослинних угруповань	Союзи рослинних угруповань	Асоціації рослинних угруповань
<i>Vaccinio-Piceetea</i>	<i>Pinetalia sylvestris</i>	<i>Dicrano-Pinion</i>	<i>Veronico incanae-Pinetum</i>

Таблиця 14

Синтаксономія угруповань рослинності широколистяних лісів долини річки Роставиця в районі Шамраївського родовища гранітів

Класи рослинних угруповань	Порядки рослинних угруповань	Союзи рослинних угруповань	Асоціації рослинних угруповань
Carpino-Fagetea sylvaticae	Aceretalia pseudoplatani	Alnion incanae, Carpinion betuli	Ficario-Ulmetum minoris, Tilio cordatae-Carpinetum, Melampyro nemorosi-Carpinetum, Stellario holosteae-Carpinetum betuli

Таблиця 15

Синтаксономія угруповань сегетальної рослинності долини річки Роставиця в районі Шамраївського родовища гранітів

Класи рослинних угруповань	Порядки рослинних угруповань	Союзи рослинних угруповань	Асоціації рослинних угруповань
Stellarietea mediae	Aperetalia spicae-venti, Atriplici-Chenopodietalia albi, Sisimbrietalia sophiae	Scleranthion annui, Galeopsis bifidae, Panico-Setarion Hordeion murini	Centaureo-Aperetum spicae-venti, Viola arvensis-Centaureetum cyani, Aphano-Matricarietum, Apero spicae-venti-Papaveretum rhoeadis, Echinochloo-Setarietum, Brometum tectorum

На порушених ґрунтах у кар'єрі та його околицях зустрічаються рудеральні угруповання класу *Artemisietea vulgaris* (табл. 16). Це асоціації *Agropyretum repentis*, *Poo compressae-Tussilaginetum farfarae*, *Arctietum lappae*, *Arctio-Artemisietum vulgaris*, *Balloto-Malvetum sylvestris*, *Hyoscyamo nigri-Conietum maculati*, *Leonuro-Arctietum*, *Echio-Verbascetum*, *Berteroëtum incanae*, *Dauco-Picridetum hieracioidis*, *Onopordetum acanthii*, *Potentilo-Artemisietum absintii*.

Під дією активного рекреаційного тиску формуються угруповання класів *Polygono arenastris-Poëtea annuae* та *Plantagenetea majoris*. Вони зосереджені в районі стежок та ґрунтових доріг. У більш вологих екотопах частіше зустрічаються угруповання класу

*Plantagenetea majoris* (табл. 17). Це асоціації *Agrostio tenuis-Poetum annuae*, *Prunello-Plantaginetum*, *Juncetum tenuis*, *Agrostio stoloniferae* – *Deschampsietum cespitosae*, *Potentilletum anserinae*, *Potentilletum reptantis*.

У менш зволжених умовах формуються угруповання класу *Polygono arenastris-Poëtea annuae* (табл. 18). Це асоціації *Polygonetum arenastris*, *Herniarietum glabrae* та *Poetum annuae*.

На ділянках із підвищеним вмістом доступного для рослин нітрогену формуються угруповання класів *Bidentetea tripartiti* та *Galio-Urticetea* (табл. 19). Рослинність першого класу зустрічається безпосередньо у прибережній зоні і часто є зато-

Таблиця 16

Синтаксономія угруповань рудеральності рослинності долини річки Роставиця в районі Шамраївського родовища гранітів

Класи рослинних угруповань	Порядки рослинних угруповань	Союзи рослинних угруповань	Асоціації рослинних угруповань
Artemisietea vulgaris	Agropyretalia intermedio-repentis, Onopordetalia acanthii	Convolvulo-Agropyron repentis, Arction lappae, Dauco-Melilotenion, Onopordion acanthii	Poo compressae-Tussilaginetum farfarae, Agropyretum repentis, Arctietum lappae, Arctio-Artemisietum vulgaris, Balloto-Malvetum sylvestris, Hyoscyamo nigri-Conietum maculati, Leonuro-Arctietum, Echio-Verbascetum, Berteroëtum incanae, Dauco-Picridetum hieracioidis, Onopordetum acanthii, Potentilo-Artemisietum absintii

Таблиця 17

Синтаксономія угруповань рослинності класу *Plantagenetea majoris* долини річки Роставиця в районі Шамраївського родовища гранітів

Класи рослинних угруповань	Порядки рослинних угруповань	Союзи рослинних угруповань	Асоціації рослинних угруповань
Plantagenetea	Potentillo-Polygonetalia avicularis	Plantagini-Prunellion, Potentillion anserinae	Agrostio tenuis-Poetum annuae, Prunello-Plantaginetum, Juncetum tenuis, Agrostio stoloniferae – Deschampsietum cespitosae, Potentilletum anserinae, Potentilletum reptantis

Таблиця 18

Синтаксономія угруповань рослинності класу *Polygono arenastri-Poëtea annuae* долини річки Роставиця в районі Шамраївського родовища гранітів

Класи рослинних угруповань	Порядки рослинних угруповань	Союзи рослинних угруповань	Асоціації рослинних угруповань
Polygono arenastri-Poëtea annuae	<i>Polygono arenastri-Poëtalía annuae</i>	Polygono-Coronopion, Saginion procumbentis	Polygonetum arenastri, Herniarietum glabrae, Poetum annuae

Таблиця 19

Синтаксономія угруповань нітрофільної рослинності долини річки Роставиця в районі Шамраївського родовища гранітів

Класи рослинних угруповань	Порядки рослинних угруповань	Союзи рослинних угруповань	Асоціації рослинних угруповань
Galio-Urticetea	Galio aparines-Alliarietalia petiolatae	Aegopodion podagrariae	Elytrigio repentis-Aegopodietum podagrariae
<i>Bidentetea tripartiti</i>	Bidentetalia tripartiti	Bidention tripartiti	<i>Polygonetum hydropiperis, Bidentetum tripartitae, Rumici maritimi-Ranunculetum scelerati</i>

пленим водою. Це асоціації *Polygonetum hydropiperis, Bidentetum tripartitae* та *Rumici maritimi-Ranunculetum scelerati*. Рослинність другого класу (асоціація *Elytrigio repentis-Aegopodietum podagrariae*) зустрічається на узліссях прибережних лісів та чагарників

#### Обговорення

Річка Роставиця є притокою Росі. Порівняння фіторізноманіття фрагменту долини Роставиці із аналогічним показником щодо усїєї долини сусідньої річки дозволяє встановити приблизну картину його відносної величини. Наявність на території 97 асоціацій 20 класів рослинних угруповань вказують на відносно високе фітоценотичне різноманіття. Адже, досліджувана територія включає в себе лише 1 км частини річкової долини. Візьмемо для прикладу усю річку Рось, досліджену Анною Куземко у 2003 року. Її фітоценорізноманіття складає 22 класи, 37 порядків, 58 союзів, 132 асоціації (Куземко, 2003). Досліджуваний нами фрагмент лівої притоки Росі містить 91%

її класів рослинності, 84% порядків, 84% союзів та 73% асоціацій. Для Росі Анна Куземко наводить для природної рослинності 14 класів, 26 порядків, 45 союзів, 104 асоціацій природної рослинності. Ми на нашій території теж маємо 14 класів (100%) природної рослинності та 71 асоціацію (68%). Таким чином, тут зустрічаються усі класи рослинності характерні для річкових долин регіону, але лише трохи більше половини усїх асоціацій. В долині річки Росі найбільш поширеними та різноманітними є класи *Molinio-Arrhenatheretea, Phragmiti-Magnocaricetea, Carpino-Fagetea sylvaticae*. У нашому випадку різноманітність класу *Carpino-Fagetea sylvaticae* набагато нижча і займає лише 4% від загального числа угруповань рівня асоціації. Це обумовлено тим, що на досліджуваній території знаходиться лише невеликий за площею масив широколистяних лісів, що піддається сильному антропогенному тиску, в тому числі інвазіям синантропних видів. На досліджуваній

території зустрічаються такі інвазійні види трансформери: *Acer negundo* L., *Ambrosia artemisiifolia* L., *Robinia pseudoacacia* L.

Разом із тим, описана нами рослинність формує 8 раритетних оселищ, занесених до 4 Резолюції Бернської конвенції (табл. 20). Оселища перебувають в задовільному стані.

Синантропна рослинність Росі, за даними Анни Куземко, включає в себе 8 класів, 11 порядків, 13 союзів та 28 асоціацій. У нашому випадку це лише 6 класів, але аж 31 асоціація. Це в свою чергу відповідно дорівнює 75% фітоценотичної різноманітності на рівні класу та 111% на рівні асоціацій, в порівнянні із долиною Росі. Тоді, коли для Росі найбільш поширеними класами є *Artemisietea vulgaris* та *Plantaginetea majoris*, то для досліджуваної нами ділянки Роставиці рівним за фітоценотичним різноманіттям до *Plantaginetea majoris* є клас *Stellarietea mediae*. Це пов'язано із наближенням, в порушення чинного законодавства, до русла річки ділянок ріллі.

Одним із факторів, які збільшують фітоценотичне різноманіття є антропогенна діяльність (Хом'як, 2022). Вона включає в себе рекреацію, рільництво та видобування корисних копалин. Досліджуваний нами фрагмент долини щільно прилягає до зони видобування граніту. Це режимна територія, на якій обмежена рекреаційна діяльність. Умовно сам організований відпочинок відбувається лише на західній частині території в районі старого покинутого кар'єру. Це зміщує баланс кількості та частки асоціацій від класу *Plantaginetea majoris* до *Artemisietea vulgaris*.

У дискусії про корисність чи шкідливість скиду зворотних вод потрібно застосову-

вати диференційований підхід (Voulvoulis, 2018). З одного боку, слід визнати, що такий скид не завдає значної шкоди фіто-різноманіттю. Навіть незначне перевищення нітровмісних сполук не має на нього помітного впливу. З іншого боку, фіто-різноманіття долини річки в його районі залишається дуже високим. Разом із тим, за візуальними спостереженнями, вже на початок літа спостерігається помітне цвітіння води в самій річці. Однак, воно може бути викликане не лише додаванням азотовмісних сполук, а й зарегулюванням течії, розоренням заплави та кліматичними змінами. Адже воно спостерігається як нижче за течією від точки скиду так і вище від неї на 500 м. Слід зазначити, що під час скиду вод, де добування корисних копалин не ведеться із застосуванням великих об'ємів вибухівки, якість води набагато вища. Такі води несуть однозначну користь для підтримання здорового функціонування малих річок. У випадку, коли порода видобувається з метою виробництва щебеню регулярно застосовуються великі маси вибухових речовин, що забруднюють середовище азотовмісними сполуками (Хом'як та ін., 2023). У такому випадку потрібно шукати ефективні способи зниження антропогенного тиску на довкілля. На досліджуваній нами території, таким методом стало суцільне покриття угруповань водних макрофітів у водоймі відстійнику. Вони поглинають надлишкові нітросполуки та виводять їх у детрит і сапропель.

#### Висновки

Рослинність досліджуваної території належить до 20 класів, 31 порядок, 49 союзів, 97 асоціацій визначених за системою

Таблиця 20

Перелік описаних раритетних оселищ долини річки Роставиця в районі Шамраївського родовища гранітів занесених до 4 Резолюції Бернської конвенції

Код	Назва оселища англійською мовою	Назва оселища українською мовою
E2.2	Low and medium altitude hay meadows	Рівнинні та низькогірні сінокосні луки
E3.4	Moist or wet eutropic and mesotrophic grassland	Мокрі або вологі евтрофні і мезотрофні луки
F4.2	Dry heaths	Сухі пустища
F9.1	Riverine scrub	Прирічкові чагарники
G1.11	Riverine <i>Salix</i> woodland	Прибережні вербові ліси
G1.21	Riverine <i>Fraxinus</i> – <i>Alnus</i> woodland, wet at high but not at low water	Прирічкові ясеневі-вільхові ліси зі змінним зволоженням
G1.22	Mixed <i>Quercus-Ulmus-Fraxinus</i> woodland of great rivers	Мішані дубово-в'язово-ясеневі ліси великих річок
G1.A1	<i>Quercus-Fraxinus-Carpinus betulus</i> woodland on eutrophic and mesotrophic soils	Дубово-ясеневі-грабові ліси на евтрофних і мезотрофних ґрунтах

Браун Бланке. Найвище фітоценотичне різноманіття мають класи рослинних угруповань Phragmiti-Magnocaricetea (16%), Molinio-Arrhenatheretea (15%) та Artemisietea vulgaris (12%).

Фітоценотичне різноманіття досліджуваного фрагменту долини річки Роставиці відносно високе. Його частка, порівняно із рослинністю усєї долини річки Рось, куди впадає Роставиця, становить 91% щодо класів рослинності, 84% порядків, 84% союзів та 73% асоціацій.

Рослинність долини річки Роставиця в районі Шамраївського родовища гранітів формує 8 раритетних оселищ занесених до 4 Резолюції Бернської конвенції.

Природна водна рослинність у водоймі відстійнику знижує рівень нітровмісних сполук, утворених в результаті поглинання водою залишків вибухових речовин.

Вплив скидів зворотних вод на довкілля в цілому і на фітоценотичне різноманіття, зокрема, залежить від технології видобування корисних копалин.

### Список використаної літератури

- Дубина Д.В. Продромус рослинності України. Київ : Наукова думка, 2019. 784 с.
- Куземко А.А. Рослинність долини річки Рось: синтаксономія, антропогенна динаміка, охорона. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України. Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, Київ, 2003. С. 21 с.
- Тимченко А.Ю., Хом'як І.В. Автогенні сукцесії в екосистемах гірничих виробок в долині річки Гуйва. *Біологічні дослідження – 2019: збірник наукових праць*. Житомир : «Полісся». 2019. С. 353–354.
- Хом'як І.В. Синтаксономія відновлюваної рослинності кар'єрів Центрального Полісся. *Український ботанічний журнал*. 2023. № 79 (3). С. 142–153. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj79.03.142>
- Хом'як І.В., Брень А.Л., Медвідь О.В., Хом'як А.К., Максименко І.Ю. Динаміка рослинності суходолу на території кар'єрів як модель постмілітарного відновлення дикої природи. *Український журнал природничих наук*. 2023. № 5. С. 61–69. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.5.2023.7>.
- 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.eco.5-32.19>.
- Якубенко Б.Є., Попович С.Ю., Устименко П.М., Дубина Д.В., Чурілов А.М. Геоботаніка: методичні аспекти досліджень. Київ : Ліра, 2020. 316 с.
- Bischel H.N., Lawrence J.E., Halaburka B.J., Plumlee M.H., Bawazir A.S., King J.P., McCray J.E., Resh V.H., Luthy R.G. Renewing Urban Streams with Recycled Water for Streamflow Augmentation: Hydrologic, Water Quality, and Ecosystem Services Management. *Environmental Engineering Science*. 2013. Vol. 30 (8). P. 455–479.
- Helgeson T. A Reconnaissance-Level Quantitative Comparison of Reclaimed Water, Surface Water, and Groundwater. Alexandria, VA: WaterReuse Research Foundation, 2009. 141 p.
- Hennekens S. Turboveg for Windows. 1998–2007. Version 2. Wageningen: *Inst. voor Bos en Natuur*, 2009. 84 p.
- Mosyakin S.L., Fedoronchuk M.M. Vascular Plants of Ukraine: a Nomenclatural checklist. Kiev, National Academy of Sciences of Ukraine M.G. Kholodny Institute of Botany, 1999. 345 p.
- Voulvoulis N. Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. 2018. Vol. 2. P. 32–45.
- 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

- Dubyna, D.V. (2019). Prodrumus roslynnosti Ukrainy [Prodrumus vegetation of Ukraine]. Kyiv : *Naukova dumka* [in Ukrainian].
- Kuzemko, A.A. (2003). Roslynnist dolyny richky Ros: syntaksonomiia, antropohenna dynamika, okhorona [Vegetation of the Ros' river valley: syntaxonomy, anthropogenous dynamics, conservation].

PhD Dissertation M.H. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv [in Ukrainian].

Tymchenko, A.Ju., & Khomiak, I.V. (2019). Avtoghenni sukcesiji v ekosystemakh ghirnychkykh vyrobok v dolyni richky Ghujva [Autogenic successions in ecosystems of mine workings in the valley of the Guiva River]. *Zb. nauk. pracj Biologhichni doslidzhennja [Biological research – 2019: collection of scientific works]*. Zhytomyr : Polissja, pp. 353–354 [in Ukrainian].

Khomiak, I.V. (2022). Syntaksonomiia vidnovliuvanoi roslynnosti karieriv Tsentralnoho Polissia [Syntaxonomy of the regenerating vegetation of the quarries of the Central Polissia]. *Ukrayins'kyj botanichnyj zhurnal [Ukrainian journal of botany]*, 79 (3), 142–153. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj79.03.142> [in Ukrainian].

Khomiak, I.V., Bren, A.L., Medvid, O.V., Khomiak, A.K., & Maksymenko, I.Ju. (2023). Dynamika roslynnosti sukhodolu na terytoriji kar'jeriv yak modelj postmilitarnogho vidnovlennja dykoji pryrody [The dynamics of dryland vegetation on the territory of quarries as a model of post-military restoration of wildlife]. *Ukrayins'kyj zhurnal pryrodnychkykh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 5, 61–69. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.5.2023.7> [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 synfityoindykatsiinoho 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].

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]. Kyiv : Lira [in Ukrainian].

Bischel, H.N., Lawrence, J.E., Halaburka, B.J., Plumlee, M.H., Bawazir, A.S., King, J.P., McCray, J.E., Resh, V.H., & Luthy, R.G. (2013). Renewing Urban Streams with Recycled Water for Streamflow Augmentation: Hydrologic, Water Quality, and Ecosystem Services Management. *Environmental Engineering Science*, 30 (8), 455–479 [in English].

Helgeson, T. (2009). A Reconnaissance-Level Quantitative Comparison of Reclaimed Water, Surface Water, and Groundwater. Alexandria, VA: WateReuse Research Foundation [in English].

Hennekens, S. (2009). Turboveg for Windows. 1998–2007. Version 2. Wageningen: *Inst. voor Bos en Natuur* [in English].

Mosyakin, S. L., & Fedoronchuk, M.M. (1999). Vascular Plants of Ukraine: a Nomenclatural checklist. Kiev, National Academy of Sciences of Ukraine M.G. Kholodny Institute of Botany [in English].

Voulvoulis, N. (2018). Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2, 32–45 [in English].

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: 10.08.2024

Прийнято: 29.08.2024

## ЗМІСТ

### БІОЛОГІЯ

**S. P. Beschasnyi, S. K. Semeniuk**

Dynamics of non-heme iron content in myocardium and heme oxygenase activity under hyperergic conditions.....7

**I. M. Bobyr, V. L. Bondarenko, O. S. Iungin**

Optimization of culture media for industrial cultivation of the recombinant strain *Escherichia coli* BL21.....17

**Л. М. Борсукевич**

Характеристика екосистемних послуг вільхових лісів України..... 25

**О. В. Машталер, А. О. Мікуліч, Ю. Б. Скляр**

Онтогенетична та віталітетна структури ценопопуляцій видів роду *Lamium* L. в умовах м. Вінниця ..... 37

**С. В. Пида, І. В. Чернік, О. В. Тригуба**

Динаміка вмісту фотосинтетичних пігментів у листках *Cicer arietinum* L. за впливу бактеріальних препаратів.....46

**В. І. Юришинець, Н. Є. Семенюк, В. І. Щербак, О. А. Давидов, Е. Ш. Козійчук, Ю. С. Шелюк**

Деякі актуальні проблеми застосування теорії метагрупувань при комплексному вивченні фітопланктону, мікрофітобентосу, фітоперифітону континентальних водних екосистем.....56

### ГЕОГРАФІЯ

**Т. П. Безсмертнюк**

Парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва Луцького району Волинської області як об'єкти рекреації.....74

**В. М. Воловик, О. Д. Лаврик**

Лабіринт як елемент сакрального простору..... 87

### ХІМІЯ

**І. В. Єфімова, Й. О. Опейда, О. В. Смирнова, В. С. Толкунов**

Реакції  $O_2^-$  вмісних супрамолекулярних комплексів з органічними субстратами..... 95

**В. В. Листван, Н. В. Кусяк, О. Ю. Кичкирук**

Синтез нових фосфорвмісних холестерилових естерів ацилюванням фосфонієвих солей.....105

**К. А. Нестерова, О. І. Хижан, А. Г. Галстян**

Визначення елементного складу водних об'єктів Київської області методом атомно-емісійної спектроскопії .....115

**С. В. Писаренко, О. М. Камінський, Р. О. Денисюк, О. С. Євдоченко, О. В. Анічкіна, С. В. Авдєєв**

Дослідження процесу адсорбції метиленового синього поверхнею калій титанату.....123

**Г. В. Різак**

Вивчення процесів ацилювання 2,4-діоксо- та 4-іміно-2-оксо-3-феніл-5-г-6-г'-тієно[2,3-d] піримідинів.....133

### АГРОНОМІЯ

**A. Borusiewicz, Ł. Pisarek**

Impact of small wind turbines on the surrounding and agricultural environment.....140



<b>I. M. Didur, H. V. Pantsyрева, A. B. Holovanuk, V. M. Kovalchuk</b> Study of varietal technology of soybean growing in the conditions of climate change.....	150
<b>V. L. Karachun, I. V. Lebedynskyi</b> Economic efficiency of cultivation of indeterminate hybrids of cherry tomatoes in winter greenhouses of the steppe area of Ukraine.....	159
<b>В. М. Безкорвайний, В. В. Мойсієнко</b> Формування врожайності та якості насіння ріпаку озимого залежно від гібридів і способів сівби в умовах Лісостепу Правобережного.....	169
<b>Т. Ю. Биндич, С. Р. Трускавецький, О. І. Шерстюк</b> Сучасні підходи до ґрунтового дешифрування даних космічної зйомки як інформаційної основи збалансованого землеробства.....	179
<b>О. В. Василенко, В. В. Фещенко, О. П. Чубко, Н. О. Гнатюк</b> Диверсифікація господарств у напрямку вирощування нішевих культур – елемент стратегії адаптації до змін клімату.....	191
<b>О. А. Васильєв, С. І. Бурикїна, В. А. Руденко, Н. І. Сауляк, Н. В. Пиляк</b> Вплив біофунгіцидів на фітосанітарний стан насіння ячменю ярого.....	200
<b>О. О. Вінюков, О. М. Бутенко, О. Б. Бондарєва, Р. С. Вискуб</b> Визначення оптимальних строків сівби пшениці туранської ( <i>Triticum turanicum</i> Jakubcz.) в умовах східної частини Північного Степу України.....	211
<b>О. І. Врадїй, А. В. Салямон</b> Вплив розташування лісів на агрохімічні показники родючості ґрунту в агроєкосистемі.....	218
<b>Я. М. Гадзало, Р. А. Вожегова, Я. О. Лікар</b> Якість сортів сої за біологізації елементів технології вирощування на зрошенні півдня України...226	226
<b>А. А. Засуха</b> Вплив десикантів на вологість, урожайність зерна та побічної продукції кукурудзи.....	235
<b>У. М. Карбівська, О. Д. Турак, А.Г. Майданський</b> Вплив удобрення на врожайність та якість <i>Solanum Lycopersicum</i> L. в умовах прикарпаття.....	247
<b>У. М. Карбівська, Г. М. Соловей, Т. В. Пронюк, В. М. Димид</b> Вплив удобрення на вміст елементів у рослинах люпину вузьколистого в умовах Прикарпаття...254	254
<b>Т. П. Костина, Ю. О. Куманська, Н. С. Дубовик, В. Я. Сабадин</b> Оцінка технологій гербіцидного захисту та моніторинг фітопатогенного стану гібридів соняшнику в центральному Лісостепу України.....	261
<b>Я. Г. Цицюра</b> Особливості формування коефіцієнту продуктивності кореневої системи редьки олійної для оцінки потенціалу її сидерального використання.....	271
<b>О. Ф. Чечуй, В. Ю. Крикунова</b> Активність ключових ензимів азотного метаболізму та вміст поліфенолів <i>Triticosecale</i> L. за дії рідких комплексних препаратів.....	281
<b>ЕКОЛОГІЯ</b>	
<b>Н. V. Hutsol, O. V. Mazur</b> Peculiarities of bee protein production and intensity of its contamination with <sup>137</sup> Cs and <sup>90</sup> Sr in the conditions of honey-growing lands of the Forest-Steppe and Polissya.....	293
<b>Н. М. Доленчук</b> Фактори накопичення важких металів у організмах риб.....	305

**Н. О. Кануннікова, О. Г. Гайдучок, Р. С. Томашевський, Б. В. Воробйов,  
Г. О. Князева, А. О. Сакун, О. В. Шестопапов**

Сучасний стан водних ресурсів басейну Дніпра у порівнянні з річками інших країн..... 314

**Т. М. Коткова, Ю. С. Шелюк, Л. Є. Астахова**

Видове різноманіття флори і фауни в зоні планової діяльності підприємства  
з випалювання деревного вугілля ТОВ «ЕкоКарбекс» с. Радичі Житомирського району  
Житомирської області ..... 323

**І. В. Хом'як, І. П. Онищук, О. В. Медвідь, І. Г. Пацева, О. І. Хом'як**

Вплив скиду зворотних вод Шамраївського родовища гранітів на фіторізноманіття долини  
річки Роставиця.....331