

ISSN 1992-4259 (Print)
ISSN 2415-7651 (Online)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ВІСНИК
ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ
імені В. Н. КАРАЗІНА
СЕРІЯ «ЕКОЛОГІЯ»

Випуск 32

VISNYK
of V. N. KARAZIN KHARKIV NATIONAL
UNIVERSITY
SERIES ECOLOGY
Issue 32

Харків
2025

Засновник і видавець
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
Міністерства освіти і науки України

Фахове видання (категорія Б) з географічних (спеціальності 101, 103)
та біологічних наук (спеціальності 091, 101) .
Наказ МОН України від 17.03.2020 № 409

Засновано у 2005 році
Періодичність виходу – 2 рази на рік

УДК 502/504+911+57

У віснику надаються результати теоретичних та прикладних досліджень у галузі екології, географії, біології, екологічної безпеки, охорони навколишнього середовища та збалансованого природокористування. Пріоритет надано розв'язанню актуальних екологічних проблем та найкращим практикам міжнародного досвіду їх вирішення, екологічному менеджменту, медико-екологічним дослідженням, інноваційним дослідженням в галузі біотехнології, біохімії, екології людини, фізіології рослин і тварин, конструктивної географії, екології та збалансованого природокористування. Викладаються питання організації та методологічних досліджень національної вищої екологічної, біологічної, географічної та природоохоронної освіти.

Для науковців і фахівців-екологів, біологів, географів, а також викладачів, аспірантів, магістрів і студентів вищих навчальних закладів України та інших країн без будь-яких обмежень

Затверджено до друку рішенням Вченої ради Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна (протокол № 13 від 30.06.2025 р.)

Головний редактор:

Крайнюков О. М., д-р геогр. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Заступник головного редактора:

Тітенко Г. В., канд. геогр. наук, доц., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Відповідальний редактор:

Кривицька І. А., канд. біол. наук, доц., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Технічний редактор: **Баскакова Л. В.**, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна.

Редакційна колегія:

Бедункова О. О., д-р біол. наук, проф., Національний університет водного господарства та природокористування;

Бойко С., д-р філософії, Вармінсько-Мазурський університет, Польща;

Гавардашвілі Г., д-р техн. наук, проф., Інститут водного господарства імені Ц. Мірцхулави, Грузія;

Едіріппуліге С., д-р географії, Університет Квінсленду, Австралія;

Жолткевич Г. М., д-р техн. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Кривцов В., д-р філософії, Едінбурзький університет, Великобританія;

Кульбачко Ю. Л., д-р біол. наук, проф., Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара;

Кучер А. В., д-р екон. наук, ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського НААН»;

Максименко Н. В., д-р геогр. наук, проф., Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна;

Нахтнебель Х.-П., д-р, проф., Університету природних ресурсів та прикладних наук у Відні – ВОКУ, Австрія;

Некос А. Н., д-р геогр. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Ричак Н. Л., канд. геогр. наук, доц., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Сафранов Т. А., д-р геол.-мин. наук, проф., Одеський державний екологічний університет;

Страшнюк В. Ю., д-р біол. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Утєвська О. М., д-р біол. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Цапко Ю. Л., д-р біол. наук, с.н.с., ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського НААН»;

Чаплигіна А. Б., д-р біол. наук, проф., Харківський національний педагогічний університет імені Г. С. Сковороди;

Шабанов Д. А., д-р біол. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Шкаруба А., д-р філософії, Естонський університет наук про життя, Естонія.

Адреса редакційної колегії: 61022, Харків, майдан Свободи, 6, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, навчально-науковий інститут екології, кімн. 473а

тел. (057)707-53-86, 705-09-66, 707-56-36,

e-mail: visnykecology@karazin.ua

Web-pages: <http://periodicals.karazin.ua/ecology> (OJS)

Статті пройшли подвійне «сліпе» рецензування. Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, власних імен тощо.

Ідентифікатор медіа у Реєстрі суб'єктів у сфері медіа: R30-04448

(Рішення № 1538 від 09.05.2024 р Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення.

Протокол № 15)

© Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, оформлення, 2025

Founder and publisher
V.N. Karazin Kharkiv National University
of the Ministry of Education and Science of Ukraine

Journal is a Professional publication (category B) on **geographical** (specialties 101, 103)
and **biological sciences** (specialties 091, 101)
Registration at the DAC of Ukraine: Order of the Ministry of Education and Culture of Ukraine
dated March 17, 2020 No. 409
Established in 2005
Published 2 times a year

UDC 502/504+911+57

The journal provides the results of theoretical and applied research in the fields of ecology, geography, biology, environmental safety, environmental protection and sustainable use of nature. Priority is given to finding new ways for solution of existing environmental problems and identification of the best international practices, as well as issues of environmental management, medical-environmental researches, innovative research in biotechnology, biochemistry, human ecology, plant and animal physiology, constructive geography, ecology and sustainable environmental management. The issues of development and methodological researches in national higher education in geographic, biological and environmental sciences are presented.

For scientists and specialists-ecologists, biologists, geographers, as well as for teachers, graduate students, masters and students of higher educational establishments of Ukraine and other countries without any restrictions

Approved for printing by the decision of the Academic Council of V.N. Karazin Kharkiv National University
(Minutes Nr 13, dated June 30, 2025)

Editor-in-chief: **Krainiukov O. M.**, DSc (Geography), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Deputy Editor: **Titenko G. V.**, PhD (Geography), Assoc. Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Executive Editor: **Kryvytska, I. A.**, PhD (Biology), Assoc. Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Technical Editor: **Baskakova L. V.**, V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine.

THE EDITORIAL BOARD

Biedunkova O. O., DSc (Biology), Prof., National University of Water and Environmental Engineering, Ukraine;
Boyko S., PhD, Forest Culture Center in Goluchow, Poland;
Gavardashvili G., DSc (Technical Sciences), Prof., Ts. Mirtskhulava Water Management Institute of Georgian Technical University, Georgia;
Edirippulige S., DSc (Geography), University of Queensland, Australia;
Zholtkevych G. M., DSc (Technical Sciences), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Krivtsov V., PhD, University of Edinburgh, United Kingdom;
Kulbachko Y. L., DSc (Biology), Prof., Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine;
Kucher A. V., DSc (Economy), National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after A.N. Sokolovsky", Ukraine;
Maksymenko N. V., DSc (Geography), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Nachtnebel H.-P., DSc (Technical Sciences), Prof., University of Natural Resources and Life Sciences, Austria;
Nekos A. N., DSc (Geography), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Rychak N. L., PhD (Geography), Assoc. Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Safranov T. A., DSc (Geology and Mineralogy), Prof., Odessa State Environmental University, Ukraine;
Strashnyuk V. Y., DSc (Biology), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Utevska O. M., DSc (Biology), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Tsapko Y. L., DSc (Biology), Prof., National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after A.N. Sokolovsky", Ukraine;
Chaplygina A. B., DSc (Biology), Prof., H.S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University, Ukraine;
Shabanov D. A., DSc (Biology), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Shkaruba A., PhD, Estonian University of Life Sciences, Estonia.

Editorial Board Address: 6 Svobody Sq., 61022, Kharkiv, V.N. Karazin Kharkiv National University,
The Karazin Institute of Environmental Sciences, office 473a
tel. (057) 707-53-86, 705-09-66, 707-56-36, e-mail: visnykecology@karazin.ua

Web-pages: <http://periodicals.karazin.ua/ecology> (OJS)

Double-blind peer review was conducted. The authors of the published materials are solely responsible for the selection, accuracy of the facts, proper names, etc.

Media identifier in the Register of the field of Media Entities: R30-04448
(Decision № 1538 dated May 9, 2024 of the National Council of Television and Radio Broadcasting of Ukraine,
Protocol № 15)

© V.N. Karazin Kharkiv National University, design, 2025

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОСИСТЕМ

Горошкова Л. А., Меньшов О. І., Корнійчук Ю. Д., Горошков С. В., Рижиков І. В.	
Екологічна оцінка стану поверхневих вод річки Дунай.....	6
Лозовіцький П. С.	
Витрати та екологічний стан води найбільшого припливу річки Росі – річки Роставиця...	23
Максименко Н. В., Коротецька Є. С.	
Інновації в організації екологічного (зеленого) туризму: регіональні особливості.....	39

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Терземан В. В., Юрасов С. М.	
Прогноз вмісту органічних речовин у водах річки Дунай (Кілія).....	61
Зленко Г. О., Кулик М. І.	
Вплив підприємств залізничного транспорту на стан поверхневих вод на прикладі Харківської області.....	71
Гололобов В. В., Гололобова О. О.	
Застосування біопрепаратів у насадженнях <i>Aesculus hippocastanum</i>	89
Лавринюк З. В., Караїм О. А., Дубенська В. Т.	
Екологічні аспекти використання біовугілля для очистки стічних вод.....	101

БІОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Шихалсєва Г. М., Кірюшкіна Г. М.	
Накопичення важких металів (Cu, Cr, Pb, Cd) у водних безхребетних з гіпергалінного Куяльницького лиману (Україна, Північно-Західне Причорномор'я)...	110
Феденко В. С.	
Спектральні характеристики квіток інвазійного виду-геліофіту <i>Erigeron canadensis</i> L.....	120

ЕКОЛОГІЧНА ТА ПРИРОДООХОРОННА ОСВІТА

Перхач О. Р.	
Актуальність викладання навчальної дисципліни “Екологічні загрози в національній безпеці України” у вищій школі.....	132

ХРОНІКА

Гречко А. А., Бурченко С. В., Кот А. Г.	
Конференції Каразінського навчально-наукового інституту екології за підтримки проєктів програми Еразмус+ SUNRISE та DOMANI.....	141
Правила для авторів.....	151

CONTENTS

ECOLOGICAL RESEARCHES OF GEOSYSTEM

Horoshkova L.A., Menshov O. I., Kornichuks Y. D., Horoshkov S. V., Ryshkov I. V.	
Ecological assessment of surface water conditions of the Danube river.....	6
Lozovitsky P. S.	
Flows and ecological state of water of the greatest Inflow of Rosi river – river Rostavitsya.....	23
Maksymenko N. V., Korotetska Ye. S.	
Innovations in the organization of ecological (green) tourism: regional peculiarities.....	39

ENVIRONMENTAL ECOLOGICAL SAFETY

Terzeman V. V. Yurasov S. M.	
Forecast of organic matter content in the waters of the Danube river (Kilia).....	61
Zlenkko H. O., Kulyk M. I.	
Influence of railway transport enterprises on the state of surface waters using the example of Kharkiv region.....	71
Gololobov V. V., Gololobova O. O.	
Biopreparations application in <i>Aesculus hippocastanum</i> plantings	89
Lavrynyuk Z. V., Karaim O. A., Dubenska V. T.	
Environmental principles of using biocharol for wastewater treatment.....	101

BIOLOGICAL RESEARCH

Shykhaleyeva G. M., Kiryushkina G. M.	
Accumulation of heavy metals (cu, cr, pb, cd) in aquatic invertebrates from the hyperhaline Kuyalnyk estuary (Ukraine, North-Western Black Sea region).....	110
Fedenko V. S.	
Flowers spectral characteristics of the invasive heliophyte species <i>Erigeron canadensis</i> l.....	120

ECOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL EDUCATION

Perkhach O. R.	
Relevance of teaching the course “Ecological threats in the national security of Ukraine” in higher school.....	132

CHRONICLE

Hrechko A. A., Burchenko S. V., Kot A. H.	
Conferences of the Karazin institute of environmental sciences with the support of the Erasmus+ projects SUNRISE and DOMANI.....	141
Instructions for Authors.....	151

ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОСИСТЕМ

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-01>

UDK(УДК): 338.49: 656.2: 504.5

L. A. HOROSHKOVA, DSc (Economy), Professor,

Professor of the Department of Ecology

e-mail: goroshkova69@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7142-4308>

National University of Kyiv Mohyla Academy

2, Skovorody Str., Kyiv, 04070, Ukraine

O. I. MENSHOV, DSc (Geology), Senior Researcher,

Department of Geoinformatics

e-mail: menshov@knu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7280-8453>

Taras Shevchenko National University of Kyiv

60, Volodymyrska Str., Kyiv, 01033, Ukraine

Y. D. KORNIICHUK,

Bachelor,

e-mail: yuliia.korniichuk@ukma.edu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-0742-3213>

National university of Kyiv Mohyla academy

2, Skovorody Str., Kyiv, 04070, Ukraine

S. V. HOROSHKOV^{1, 2},

Bachelor

e-mail: stas20055008@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-4310-9165>

¹*Taras Shevchenko National University of Kyiv,*

60, Volodymyrska Str., Kyiv, 01033, Ukraine,

²*V.N. Karazin Kharkiv National University,*

4, Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

I. V. RYSHYKOV,

Postgraduate Student

e-mail: igorrichikov@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-7290-0503>

National University of Kyiv Mohyla Academy

2, Skovorody Str., Kyiv 04070, Ukraine

ECOLOGICAL ASSESSMENT OF SURFACE WATER CONDITIONS OF THE DANUBE RIVER

Purpose. To provide a comprehensive environmental assessment and forecasting of the condition of surface waters of the Danube River within the Ukrainian section (Reni – Izmail – Vylkove), with a focus on the dynamics of key hydrochemical indicators over the period 2010–2024. Special attention is given to the influence of anthropogenic factors, including intensive navigation, industrial pressure, and the environmental consequences of military actions, which have altered the hydrological regime and deteriorated water quality.

Methods. System analysis, statistical data processing, distribution analysis, and regression modeling were employed to assess retrospective dynamics and predict future trends in water quality. The information was sourced from long-term monitoring data collected at observation stations in the cities of Kiliya, Vylkove, and the river's mouth.

Results. The analysis focused on six key water quality indicators: phosphates, ammonium, sulfates, chlorides, biochemical oxygen demand over five days (BOD₅), and dissolved oxygen concentration. Phosphate and ammonium compounds exhibited seasonal fluctuations, attributed to discharges of organic and agricultural origin. Sulfate concentrations were found to be highly variable, combining both natural and anthropogenic sources, while chloride levels remained stable with signs of chronic influence. The analysis of BOD₅ and dissolved oxygen indicators suggests a potential for self-purification, although certain periods revealed deterioration in oxygen balance, particularly due to localized organic overload and disrupted hydrodynamics. Developed regression models allowed the identification of relationships between hydrological changes, port activity intensity, and pollution levels.

Conclusions. The main environmental issues of the lower Danube were identified as organic and mineral pollution, eutrophication, decreased oxygen levels, hydromorphological changes, and threats posed by armed conflict. Despite these challenges, the river retains a capacity for partial self-recovery, especially under reduced anthropogenic pressure. Restoring ecological balance will require the implementation of systematic monitoring, modernization of wastewater treatment facilities, effective pollution source management, and Ukraine's active participation in international environmental regulatory mechanisms, such as the Danube Commission. The modeling results can be used to forecast water environment conditions in both peacetime development and post-war recovery scenarios.

KEY WORDS: *Danube River, surface waters, environmental monitoring, phosphates, ammonium, sulfates, chlorides, dissolved oxygen, BODs, anthropogenic impact, forecasting, war*

Як цитувати: Horoshkova L.A., Menshov O. I., Korniiichuk Y. D., Horoshkov S. V., Ryshykov I. V. Ecological assessment of surface water conditions of the Danube river. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2025. Вип. 32. С. 6 - 22. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-01>

In cites: Horoshkova, L.A., Menshov, O. I., Korniiichuk, Y. D., Horoshkov, S. V., & Ryshykov, I. V. (2025). Ecological assessment of surface water conditions of the Danube river. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (32), 6 - 22. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-01>

Introduction

The Danube River, as one of Europe's major transboundary watercourses, plays a critical ecological, hydrological, and socio-economic role in the region. Its lower reach within Ukraine encompasses the dynamic and biologically rich Danube Delta, a UNESCO Biosphere Reserve that supports high biodiversity and essential ecosystem services. However, this area faces increasing environmental pressure from agricultural runoff, municipal discharges, industrial activities, and intensified navigation.

In recent years, the ecological integrity of the Danube has been further challenged by hydromorphological alterations, climate variability,

and, since 2022, the environmental consequences of military conflict. These factors have altered the river's water quality, disrupted natural flow regimes, and increased the load of pollutants.

A comprehensive assessment of hydrochemical indicators is essential to evaluate the current ecological status of surface waters in the Ukrainian section of the Danube. Such analysis forms the basis for understanding pollution dynamics, identifying priority risks, and developing effective environmental management and forecasting strategies in the context of both peace and crisis conditions.

Objects and Research Methods

To assess the ecological state of surface waters and the impact of anthropogenic pressures—including industrial activity, navigation, and military-related factors—on the Danube River, a hydrochemical study was conducted using long-term monitoring data from the Ukrainian section of the river (Reni–Izmail–Vylkove). Data were obtained from the Water Monitoring Laboratory of the Lower Danube Basin Department and included observations collected between 2010 and 2024.

Monitoring focused on key water quality parameters: ammonium, phosphates, sulfate and chloride ions, biochemical oxygen demand over

five days (BOD₅), and dissolved oxygen. These indicators were analyzed at observation points near the cities of Kiliya and Vylkove, as well as in the river delta, with particular attention to areas of drinking water intake and ecological sensitivity.

The research employed statistical analysis, frequency distribution assessment, and regression modeling to identify trends, determine pollution patterns, and evaluate the river's capacity for self-purification under varying anthropogenic loads. This approach provides a scientific basis for forecasting environmental risks and supporting sustainable water resource management in the Danube basin.

Results and Discussion

1. Physical-Geographical and Hydrological Characteristics of the Danube River Basin

The Danube River is one of the main water arteries of Europe, encompassing the territories of ten countries, including Ukraine. Its lower course, particularly the delta, is located in the southwest of the country and plays an important role in the region's water, ecological, and economic balance. This section is characterized by a complex natural structure, diverse wetland ecosystems, and a high level of biological diversity. The Ukrainian section of the river extends for approximately 174 km and includes a branched delta with numerous arms, lakes, and floodplains. The territory is predominantly flat, with minimal elevation above sea level, which contributes to regular flooding and the formation of marshy landscapes. The Danube Delta is one of the youngest geomorphological formations in Europe and continues to actively change due to sedimentation processes. The climatic conditions of the region are generally moderately continental, with relatively mild winters and hot, dry summers. The level of precipitation is low—within the range of 350–400 mm per year, while evaporation exceeds this value twofold. Such a water deficit affects runoff formation and the ecological state of water bodies. The hydrological regime of the Danube is quite variable and depends on both climatic factors and flow regulation in the upper course. The lower section experiences annual floods lasting from several weeks to several months. Water levels can rise by several meters, influencing the formation of the delta's hydrological cycle and causing changes in the channel network [1].

According to estimates, the average annual water discharge near the city of Kiliya is about 6460 m³/s, but in some years these values may significantly deviate—from historical minimums to extreme maximums. These fluctuations are associated with changes in precipitation, snowmelt in the upper course, as well as economic activities, in particular, the operation of hydraulic structures and land reclamation systems [2].

In addition to natural factors, changes in the Danube's hydrology are intensified by human intervention: engineering restructuring of channels, expansion of navigation routes, deforestation, and draining of wetlands [3]. At the same time, numerical modeling results show that Danube runoff significantly affects water quality and hydrodynamic

processes in the adjacent marine area—particularly in the vicinity of Snake Island. This confirms the importance of considering the complex "river-sea" dynamics when assessing the condition of the lower river course [4].

Based on long-term observations of water levels and discharges in the Reni–Izmail section, a general trend of a slight increase in average and maximum levels has been identified, especially pronounced in recent decades. At the same time, seasonal phases—spring floods and autumn low water—remain stable, although peak flow discharges are increasingly shifting to late spring months [5].

2. Hydrochemical Characteristics and Water Quality Assessment of the Danube River

Water quality assessment is a key stage of hydroecological monitoring, especially under conditions of significant anthropogenic pressure. For the Danube River, which is used as a source of drinking water, recreational and industrial needs, the issue of water chemical purity is a priority in terms of sustainable water resource management. The mineralization of water in the Reni–Izmail section has shown a steady decline during the period from 1981 to 2015. This process is associated with an increase in the proportion of fresh meltwater and rainwater in the runoff structure, especially during spring floods. In high-water years, mineralization decreases to 368 mg/dm³, while in low-water periods its level can exceed 425 mg/dm³ [5].

Hydrochemical analysis of water at observation posts in Kiliya and Vylkove indicates regular exceedances of maximum allowable concentrations for parameters such as biochemical oxygen demand (BOD₅), ammonium nitrogen, nitrite nitrogen, as well as chemical oxygen demand (COD). In some months, the Water Pollution Index (WPI) reached 19.35, corresponding to class VII water quality—"extremely polluted water." A positive fact is that the level of dissolved oxygen in water in the summer months was quite high—8.4–9.8 mg/dm³, which facilitated effective natural self-purification of the ecosystem. However, the presence of pollutants such as nitrites, petroleum products, and phenols, even in low concentrations, requires additional control due to their toxicity [6].

One of the most common integral indicators for assessing surface water is the Water Pollution Index (WPI). It allows the combination of various pollution parameters into a single numerical value and assigns the corresponding quality class. The WPI takes into account six main parameters: BOD₅, dissolved oxygen, ammonium, nitrites, petroleum products, and phenols. According to the classification, water with WPI > 10 is considered extremely polluted, and with WPI < 0.3—very clean [7].

In most sources, particularly in the study by Romanchuk M.Ye. and Veslohuzova Z.H., generalized water quality assessment also used integral quality indices based on the average values of several groups of indicators (organoleptic, toxicological, general sanitary). Based on these indices, the water of the Danube River in 2022 in the Kiliya area was classified within the second–third quality classes—"satisfactory," "slightly polluted" [8].

An important problem noted in modern studies is the discrepancy between Ukrainian and European water quality assessment standards. European approaches, which are increasingly being integrated into Ukrainian practice, focus not only on chemical parameters but also on biological and morphological indicators, allowing a comprehensive assessment of the ecological state of water bodies [6].

3. Anthropogenic Impact on the Condition of the Danube River Surface Waters

The lower course of the Danube, flowing through the territory of Ukraine, experiences significant anthropogenic pressure caused by both industrial and agricultural use of water, as well as urban wastewater discharge. This leads to changes in hydrochemical parameters, disturbances of aquatic ecosystems, accumulation of toxic substances, and degradation of the aquatic environment. The reduction of suspended sediment runoff over the past 30 years has been recorded as a result of the construction of hydraulic structures, water intake for irrigation and industrial needs. The most noticeable decline occurred during 1990–2015. This may lead to reduced silting of channels connecting the Danube lakes with the river and, consequently, to improved water exchange quality between them [5].

The main sources of water pollution in the Danube basin are municipal treatment facilities, which are mostly outdated and overloaded. In 2020, municipal sources discharged over 785 tons of organic substances in terms of BOD₅, and

nearly 2000 tons in terms of COD. At the same time, the design capacities of treatment facilities were significantly exceeded, which led to the discharge of insufficiently treated or even untreated effluents into the river [6]. An additional threat is posed by food and paper industry enterprises. According to observations, the organic load from these sectors amounted to 9.1 tons for BOD₅ and 98.9 tons for COD, while the contribution from point agricultural sources is relatively minor. Accidental pollution caused by industrial facility malfunctions also poses a separate danger. For example, in 2000, a large volume of wastewater with high cyanide and heavy metal content entered the Danube due to an accident in Romania. Such situations not only disrupt the local state of the waters but also pose a transboundary ecological threat [6].

Prolonged load results in significant changes in the hydrochemical characteristics of water. Harmful compounds such as heavy metals and pesticides accumulate in the delta waters, along with increasing mineralization and changes in pH. All of this threatens aquatic flora and fauna, disrupts biodiversity, and may lead to eutrophication of water bodies [3].

Anthropogenic pressure also alters the river's morphological structure—dam and canal construction changes flow hydrodynamics, hinders migration of aquatic organisms, and reduces the river's self-purification capacity [6]. Since 2022, due to armed aggression, the number of potentially environmentally hazardous situations has increased—including the destruction of hydraulic structures, pollution by petroleum products, ammunition, and other toxicants. This is particularly relevant for the southern region of Ukraine, where the Danube Delta is located. Research confirms that the war has not only immediate but also long-term impacts on the hydroecological condition of water bodies [6].

4. The Influence of the Danube River on the Ecosystem of the Black Sea

The Danube is the main source of fresh water for the northwestern shelf of the Black Sea. The river's runoff transports water masses that influence salinity, temperature, and chemical composition of marine water through advection and diffusion processes. In high-water years, the area of Danube runoff distribution covers a significant part of the shelf, substantially altering its hydrodynamic characteristics.

Modeling confirms that the river runoff affects marine waters not only by changing salinity but also by transporting pollutants. In particular, in the coastal zone near Snake Island, reduced water transparency, fluctuations in oxygen content, and increased levels of biogenic elements are observed [4].

As a result of intensive input of nitrogen, phosphorus compounds, and organic matter with river runoff, eutrophication is observed in the northwestern part of the Black Sea. This leads to rapid algal growth, reduced transparency, and oxygen depletion in bottom layers. Hypoxic conditions resulting from algal blooms negatively affect the flora and fauna of the marine zone. In such conditions, oxygen-depleted zones may form, causing mass mortality of aquatic organisms and destabilization of the ecosystem [3].

5. The Importance of the Danube River for Economy and Navigation

The Danube River water is widely used to supply the population with drinking water, especially in Kiliya and Vylkove. However, hydrochemical analysis indicates frequent exceedances of maximum permissible concentrations for BOD₅, nitrites, ammonium, and COD. This threatens the quality of drinking water supply and requires improvement of treatment systems. According to the study, in some years, water from the control site at 48 km was classified as extremely polluted (class VII), indicating a high health risk for consumers [6, 8].

The Danube performs an important transport function as part of the international water corridor. However, intensive navigation leads to several environmental problems: shoreline erosion, wave generation, pollution by petroleum products, and mechanical damage to benthic biocenoses [6].

In addition, port and canal infrastructure (e.g., the Danube–Black Sea Canal) changes current speeds and sediment structure, degrading the condition of aquatic ecosystems in the estuarine zone [3]. Particular attention is drawn to the implementation of the deep-water navigation route "Danube–Black Sea" through the Bystre mouth, which since the early 2000s has been the subject of international discussion. The main goal is to restore navigation in the Ukrainian part of the delta, creating an alternative to the Romanian Sulina Canal. The project is viewed as Ukraine's attempt to strengthen its presence on the Pan-European Transport Corridor VII. At the same time, the

construction of the route has faced opposition from Romania and a number of international environmental organizations emphasizing its potential impact on the Danube Biosphere Reserve, part of which is located in the Bystre estuary. Nevertheless, the Ukrainian side insists that the project complies with international standards and considers it technically and logistically advantageous due to its shorter length and economic feasibility [9].

An important institutional mechanism for international navigation regulation on the Danube is the Danube Commission—an intergovernmental organization established under the Belgrade Convention of 1948. Its structure and authority aim to ensure free, safe, and equitable navigation for all Danube countries. In recent years, the commission has undergone significant updates due to the need to adapt to technological progress in navigation, new standards (ES-TRIN, PLATINA 3), and challenges associated with Russia's military aggression. In 2022, the Danube Commission suspended Russia's powers, condemning violations of navigation freedom and the safety of Ukraine's port infrastructure. The Commission plays a coordinating role in standardizing navigation dimensions, hydraulic engineering works, and integrating the Danube into the European TEN-T transport network. Some of its projects (e.g., Green Deal, GRENDL, RIS COMEX) are aimed not only at improving navigation conditions but also at ensuring the ecological safety of the river environment. This integrated approach makes the commission a key link in the sustainable development of Danube navigation [10].

In order to assess the impact of anthropogenic pressure, including the intensification of navigation and the war, on the condition of surface waters in the Danube River, an analysis was conducted of water quality indicators at the monitoring station: Danube River, 163 km, Reni city, border with Romania (45°46'72" N, 28°22'95" E). The data used were obtained from the Water Monitoring Laboratory of the Basin Department for Water Resources of the Black Sea and Lower Danube Rivers. The study focused on the following parameters: phosphate ions, ammonium ions, sulfate ions, chloride ions, biochemical oxygen demand over five days (BOD₅), and dissolved oxygen.

Figure 1 presents the results of the analysis of phosphate and ammonium ion dynamics in the surface waters of the Danube River during the period from 2004 to 2024.

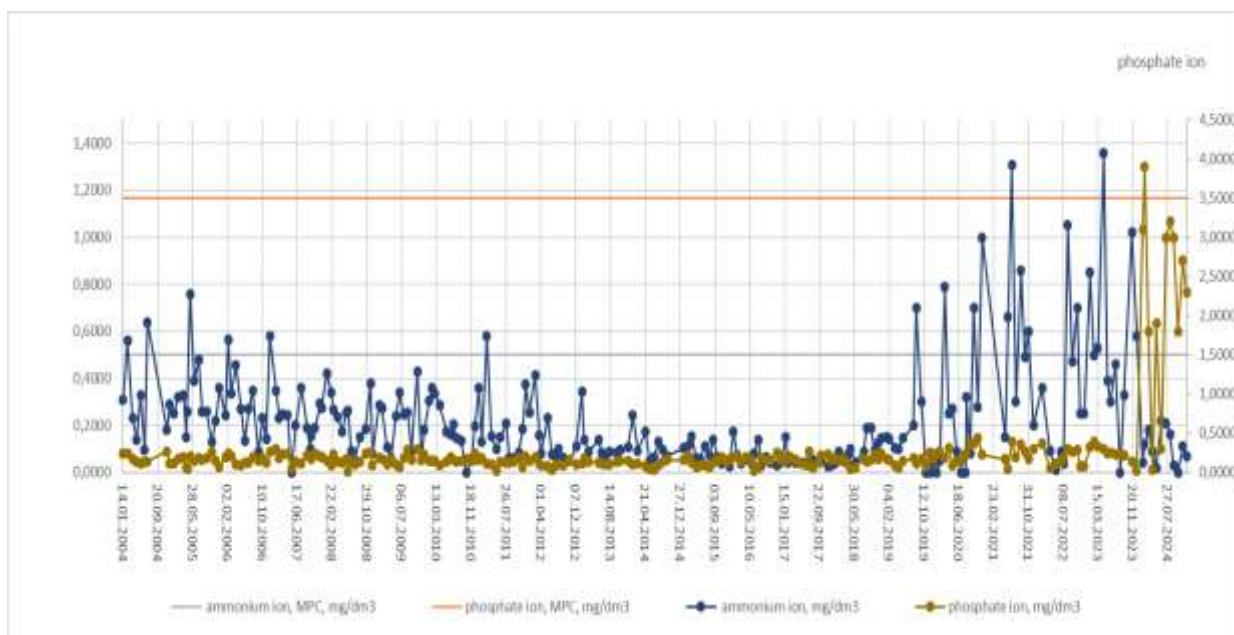


Fig. 1 – Dynamics of Ammonium and Phosphate Ion Concentrations in Aquatic Environment Compared to Maximum Permissible Concentrations (MPC) (2003–2024)

The graph illustrates the long-term dynamics of ammonium (NH_4^+) and phosphate (PO_4^{3-}) ion concentrations in surface waters from 2004 to 2024. A noticeable upward trend in concentrations, especially after 2020, may indicate increased anthropogenic pressure such as discharges of untreated or insufficiently treated wastewater, agricultural runoff, and urban development. The orange and gray lines represent the maximum permissible concentrations (MPCs) for phosphate (1.1 mg/dm^3) and ammonium (0.39 mg/dm^3), respectively. Frequent exceedances of these limits signal ecological degradation, deterioration of water quality, and heightened risk of eutrophication, posing a threat to aquatic biodiversity.

Figure 2 presents the results of the analysis of the dynamics of sulfate and chloride ion concentrations in the surface waters of the Danube River during the period from 2003 to 2024.

The graph shows the fluctuations in sulfate (SO_4^{2-}) and chloride (Cl^-) ion concentrations in surface waters from 2003 to 2025. The maximum permissible concentration (MPC) for sulfate is marked with an orange line (100 mg/dm^3), while values for chloride appear to reference regulatory thresholds (green). Recurrent exceedances of sulfate levels, especially in recent years, may reflect increased industrial discharge, mine drainage, or agrochemical runoff. Chloride levels are more stable, but their accumulation can indicate secondary salinization. These chemical

shifts in aquatic environments affect aquatic organisms, disrupt ecosystems, and emphasize the need for enhanced environmental monitoring and pollution mitigation strategies.

Figure 3 presents the results of the analysis of the dynamics of dissolved oxygen concentration and five-day biochemical oxygen demand (BOD_5) in the surface waters of the Danube River during the period from 2004 to 2024.

The graph shows the fluctuations of dissolved oxygen (DO, yellow line) and biochemical oxygen demand over 5 days (BOD_5 , orange line) in surface waters from 2004 to 2024. The blue line represents the maximum permissible concentration (MPC) for dissolved oxygen (4.0 mgO_2/dm^3), while the gray line marks the BOD_5 threshold (approximately 3.0 mgO_2/dm^3).

Dissolved oxygen is a critical ecological indicator: drops below the MPC can lead to hypoxia and threaten aquatic life. BOD_5 reflects the level of organic pollution — higher values indicate increased oxygen consumption for decomposition. Repeated BOD_5 exceedances along with low oxygen episodes point to anthropogenic pressure such as wastewater discharge and organic contamination, signaling a risk of eutrophication and ecosystem degradation.

For a general assessment of the level of anthropogenic pressure from pollutants and their impact on BOD_5 levels and dissolved oxygen concentration, distribution histograms were constructed for the period 2003–2024.

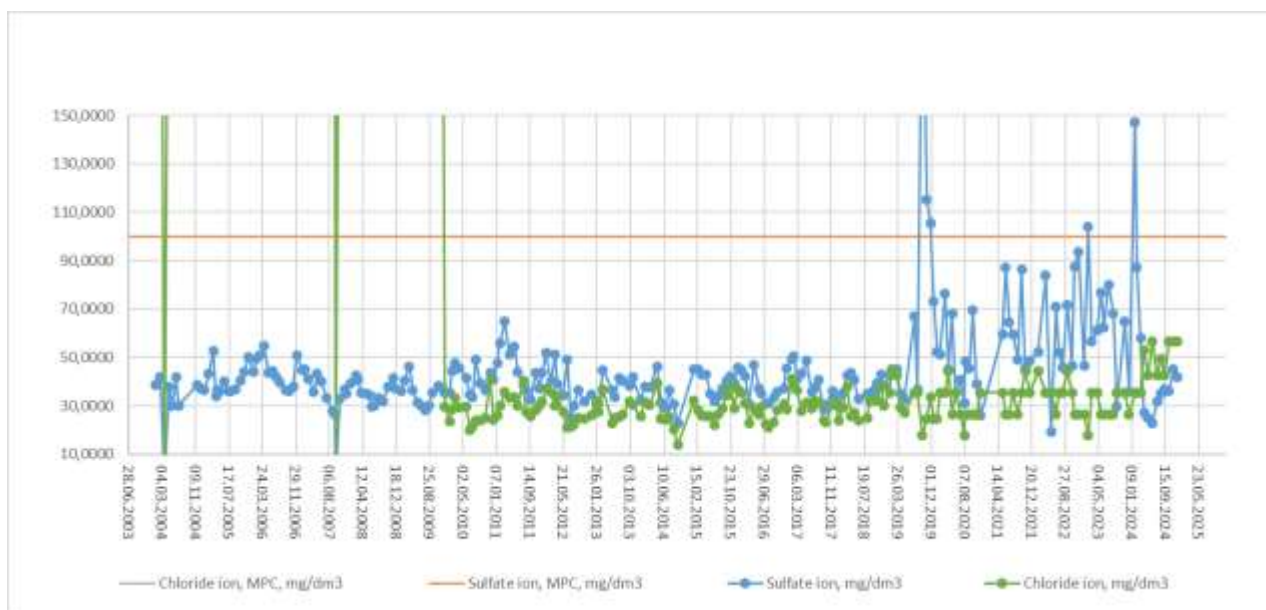


Fig. 2 – Assessment of Chloride and Sulfate Ion Concentration Variability in Surface Waters in the Context of Environmental Safety (2003–2024)

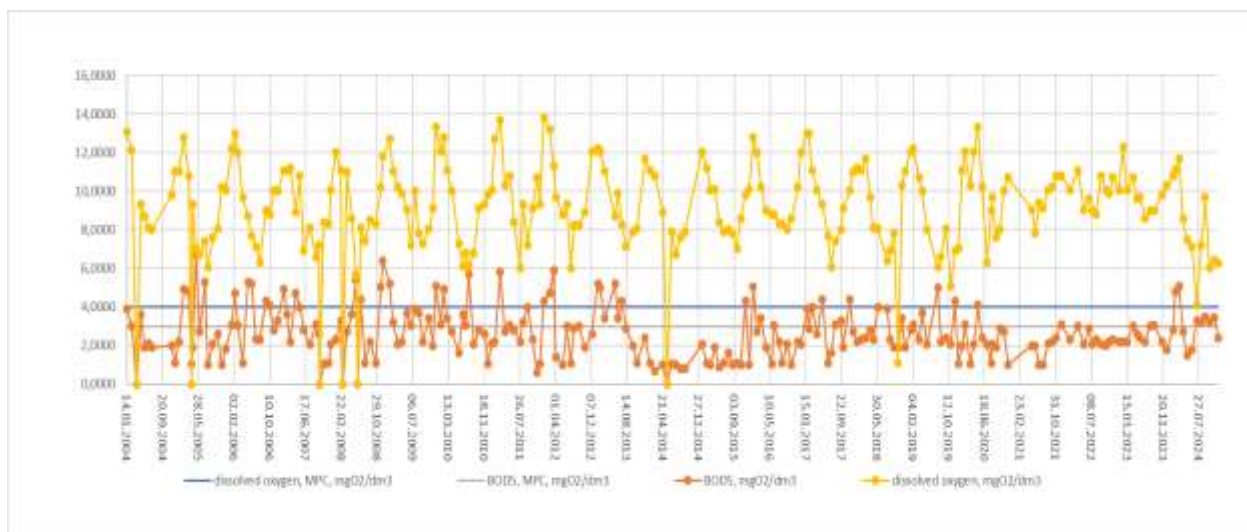


Fig. 3 – Monitoring of Dissolved Oxygen and Biochemical Oxygen Demand (BOD₅) in Aquatic Ecosystems: Indicators of Aeration and Organic Pollution (2004–2024)

Figure 4 presents the histogram of the distribution of phosphate ion concentrations in the surface waters of the Danube River during the period from 2004 to 2024.

The histogram shows the frequency distribution of phosphate (PO_4^{3-}) concentrations in water. The vast majority of samples (over 90%) fall within the 0.1–0.5 mg/dm³ range, indicating a low level of eutrophication pressure. However, a few samples exceed 1.0 mg/dm³, which may point to localized pollution from domestic wastewater, detergents, or fertilizers.

Figure 5 presents the histogram of the distribution of ammonium ion concentrations in the surface waters of the Danube River during the period from 2004 to 2024.

This histogram displays the frequency distribution of ammonium ion (NH_4^+) concentrations in water. Over 80% of the samples show concentrations below 0.5 mg/dm³, indicating generally low pollution levels, typical for waters with limited organic input. However, the presence of samples exceeding 1.0 mg/dm³ may indicate localized

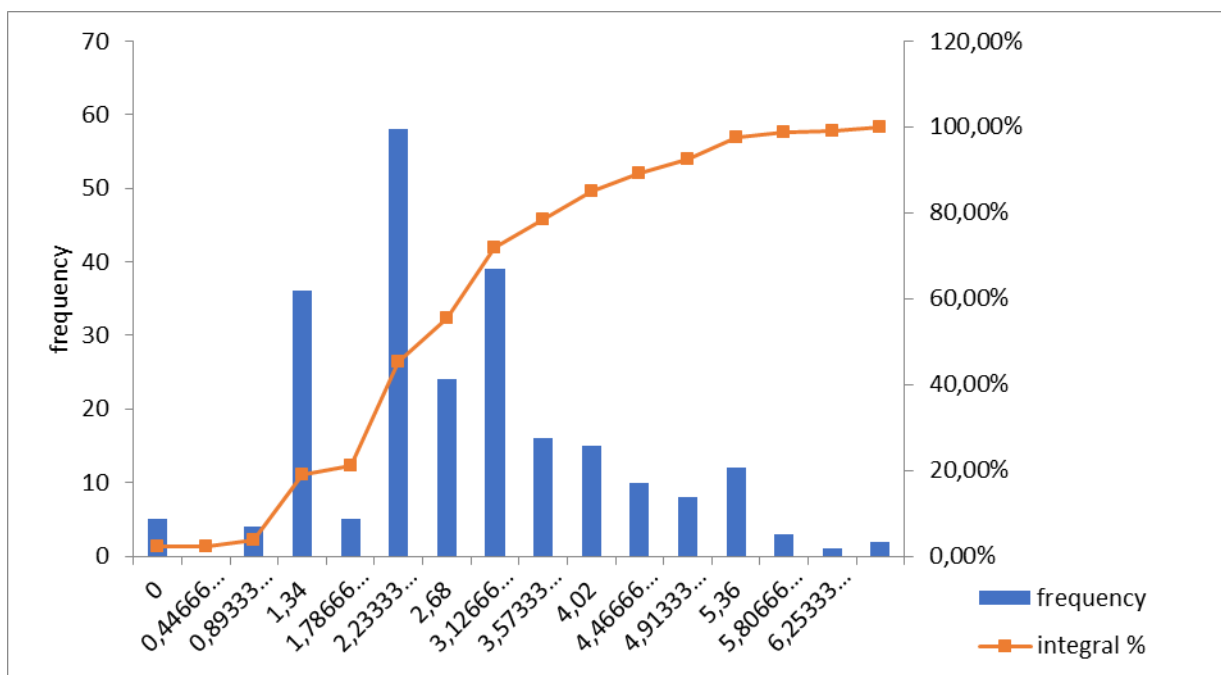


Fig. 4 – Distribution histogram of Phosphate Concentrations in Water with Cumulative Percentage Analysis (2004–2024)

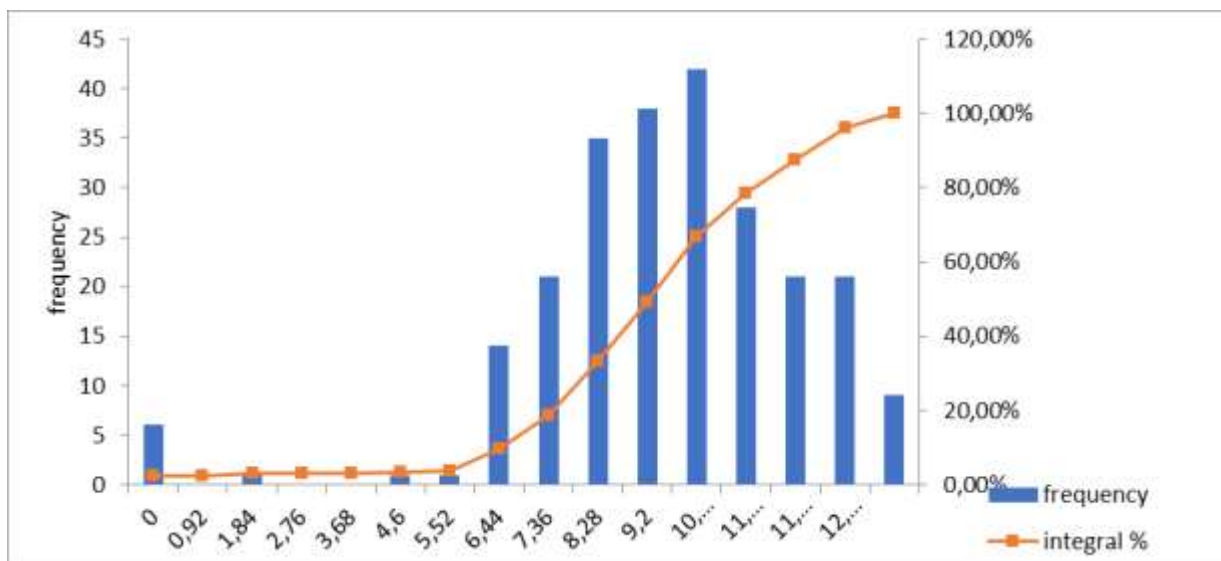


Fig. 5 – Distribution histogram of Ammonium Ion Concentrations in Water with Cumulative Frequency Analysis (2004–2024)

sources of contamination, such as domestic or agricultural wastewater discharges. Ammonium is a sensitive indicator of recent organic pollution, and elevated levels require attention through environmental monitoring.

Figure 6 presents the histogram of the distribution of sulfate ion concentrations in the surface waters of the Danube River during the period from 2004 to 2024.

The distribution of sulfate concentrations shows peaks within the range of 40–60 mg/dm³, which corresponds to the natural level of mineralization for large river systems experiencing moderate anthropogenic pressure. The majority of values (over 80%) are concentrated within the 45–50 mg/dm³ range. This indicates a stable source of sulfate input — particularly from natural minerals (such as gypsum and sulfides), as well as

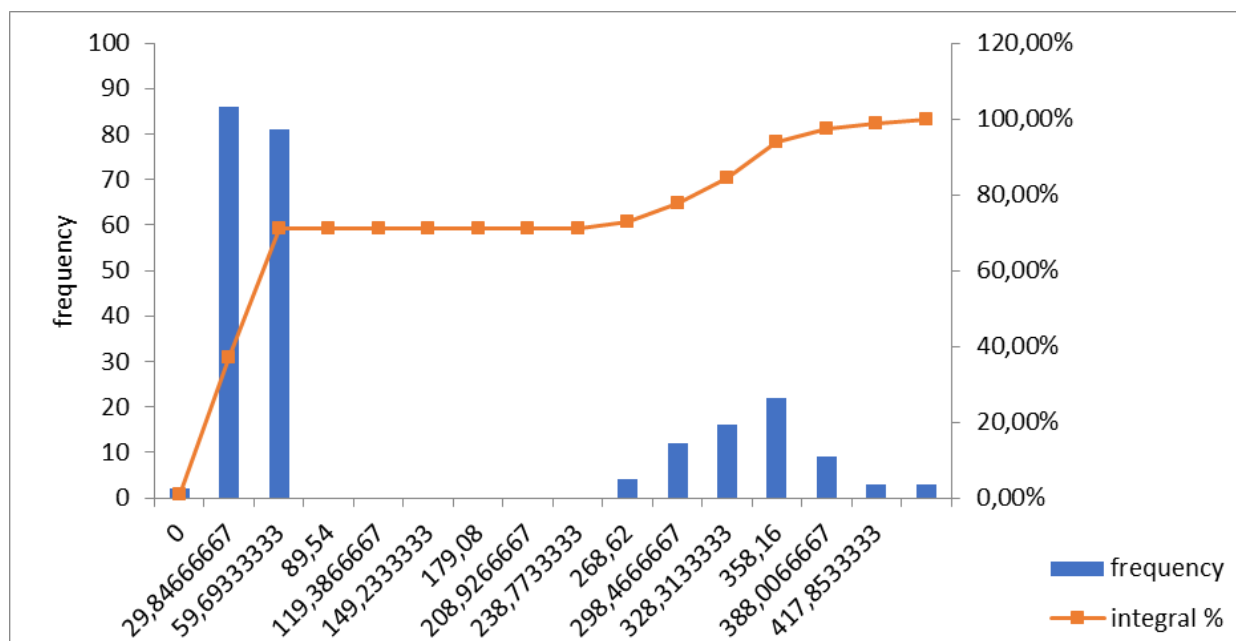


Fig. 6 – Distribution histogram of Sulfate Concentrations in the Aquatic Environment with Cumulative Frequency Analysis (2004–2024)

from domestic and industrial wastewater. Isolated instances of higher concentrations may result from localized pollution, desorption processes from bottom sediments, or the influence of atmospheric runoff. Such a distribution profile is typical for river systems subject to seasonal variability and influenced by both natural and anthropogenic sources of SO_4^{2-} . High concentrations in combination with low oxygen levels may also provide a substrate for sulfate reduction with the formation of hydrogen sulfide (H_2S), which is potentially toxic to aquatic biota.

Figure 7 presents the histogram of the distribution of chloride ion concentrations in the surface waters of the Danube River during the period 2004–2024.

The histogram illustrates the frequency distribution of chloride concentrations in the water. As shown, the frequency distribution of chloride pollution levels is heterogeneous. The majority of samples (over 80%) have concentrations up to 90 mg/dm³, indicating a relatively low level of chloride pollution. However, the right side of the chart shows a smaller but noticeable number of samples with concentrations exceeding 200 mg/dm³. Data on chloride ion concentrations indicate that prior to 2010, the level of chloride pollution was significantly higher and substantially decreased after 2010. Thus, in the context of chloride ion

concentration frequencies, it is appropriate to conduct a separate analysis starting from 2010. The results of this analysis are presented in Figure 8.

The histogram shows the frequency distribution of chloride ion (Cl^-) concentrations in water. The majority of samples (over 80%) fall within the 25–45 mg/dm³ range, indicating a moderate and stable level of mineralization, typical for natural freshwater systems. However, a few values exceed 50 mg/dm³, suggesting possible local sources of elevated chloride input, such as municipal or industrial discharges, road de-icing agents, or soil salinization. Elevated chloride levels can adversely affect aquatic ecosystems by disrupting the osmotic balance of organisms, reducing biodiversity, and degrading drinking water quality.

A comparison of the two histograms indicates that since 2010, the level of chloride pollution in the surface waters of the Danube has decreased. This is most likely associated with a reduction in anthropogenic pressure due to decreased use of inorganic fertilizers, such as potassium chloride, and improvements in the quality of municipal wastewater.

Figure 9 presents the histogram of the distribution of BOD₅ values in the surface waters of the Danube River over the period 2004–2024.

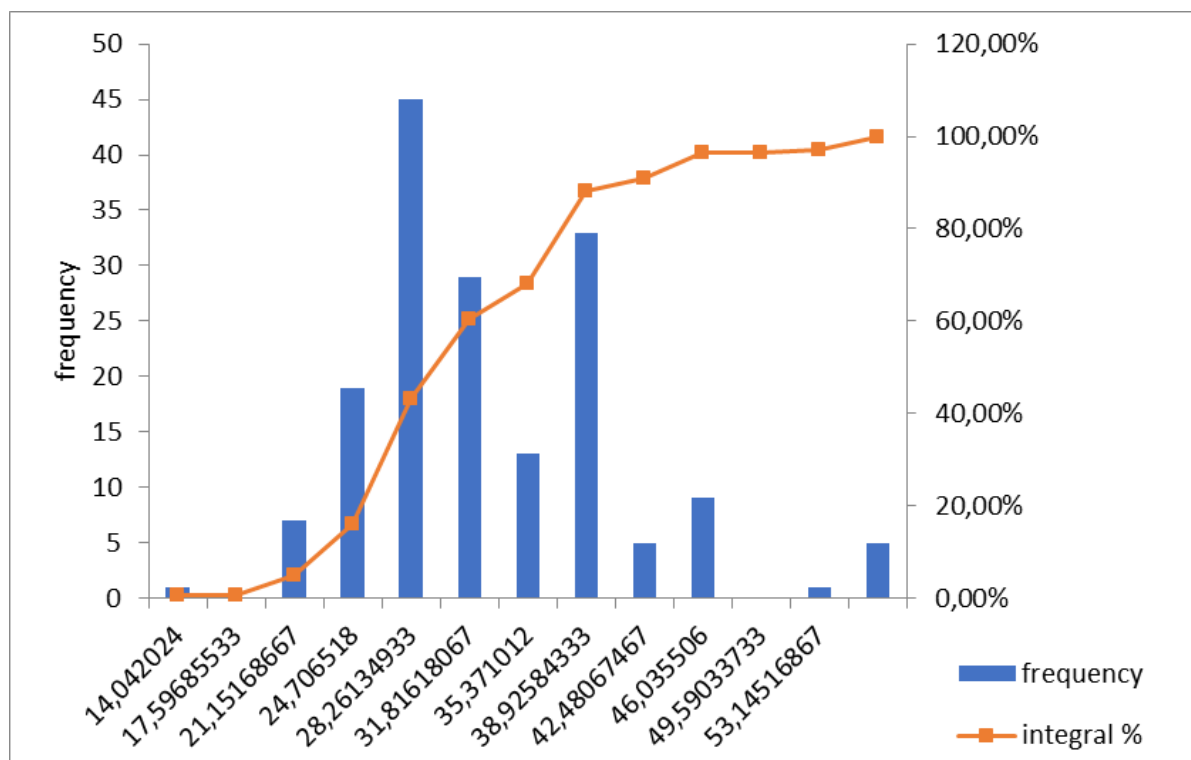


Fig. 7 – Distribution histogram of Chloride Ion Concentrations in Water with Cumulative Percentage Assessment (2004 – 2024)

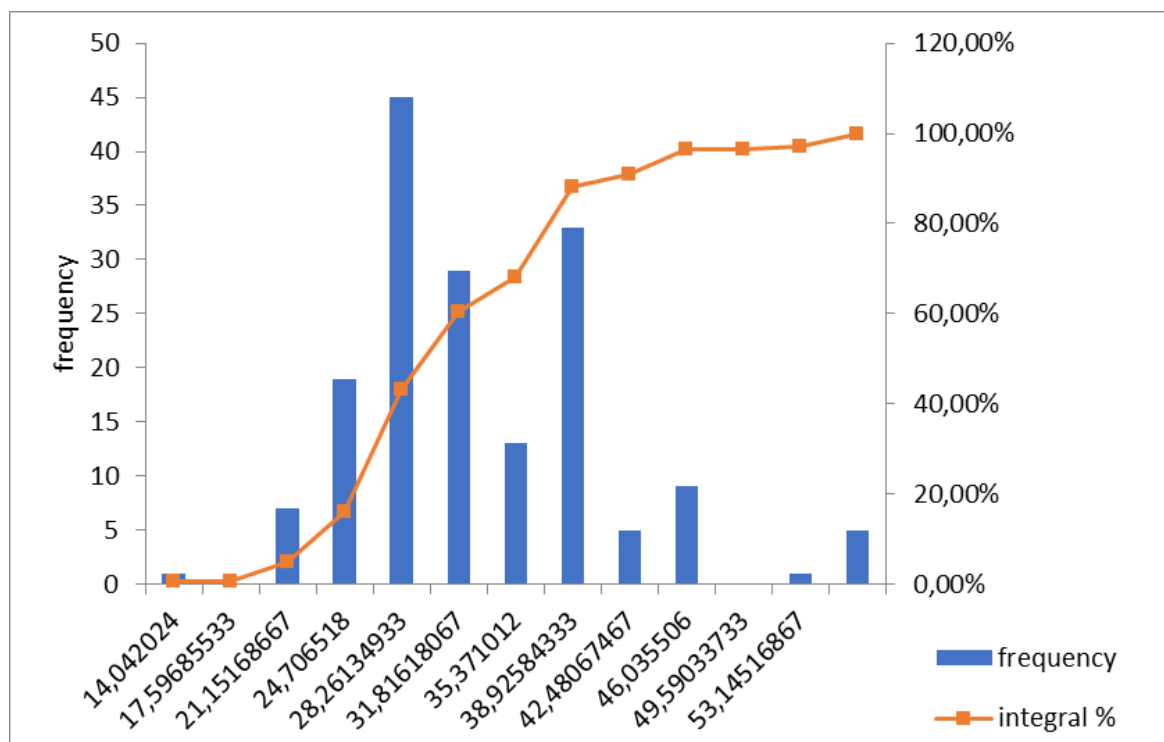


Fig. 8 – Distribution histogram of Chloride Ion Concentrations in Water with Cumulative Percentage Assessment (2010 – 2024)

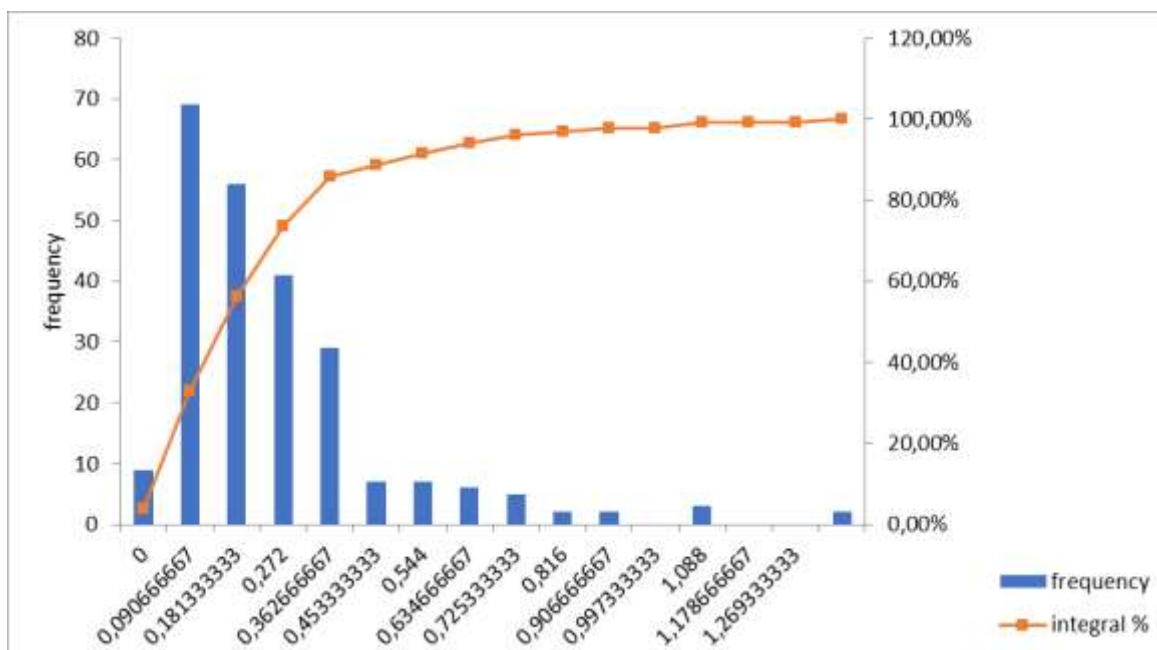


Fig. 9 – Distribution histogram of BOD₅ values and cumulative percentage: assessment of organic pollution in aquatic environments (2004 – 2024)

This histogram shows the distribution of BOD₅ (Biochemical Oxygen Demand over 5 days), an indicator of organic pollution in water. Most samples fall within the 2.2–2.7 mgO₂/dm³ range, indicating moderate contamination. However, about 20% of values exceeded 4.0 mgO₂/dm³ — the threshold where negative effects on aquatic organisms can occur. This suggests the presence

of organic pollution sources that may lead to decreased dissolved oxygen, eutrophication, and overall deterioration of the water body's ecological condition.

Figure 10 presents the histogram of the distribution of dissolved oxygen concentrations in the surface waters of the Danube River over the period 2004–2024.

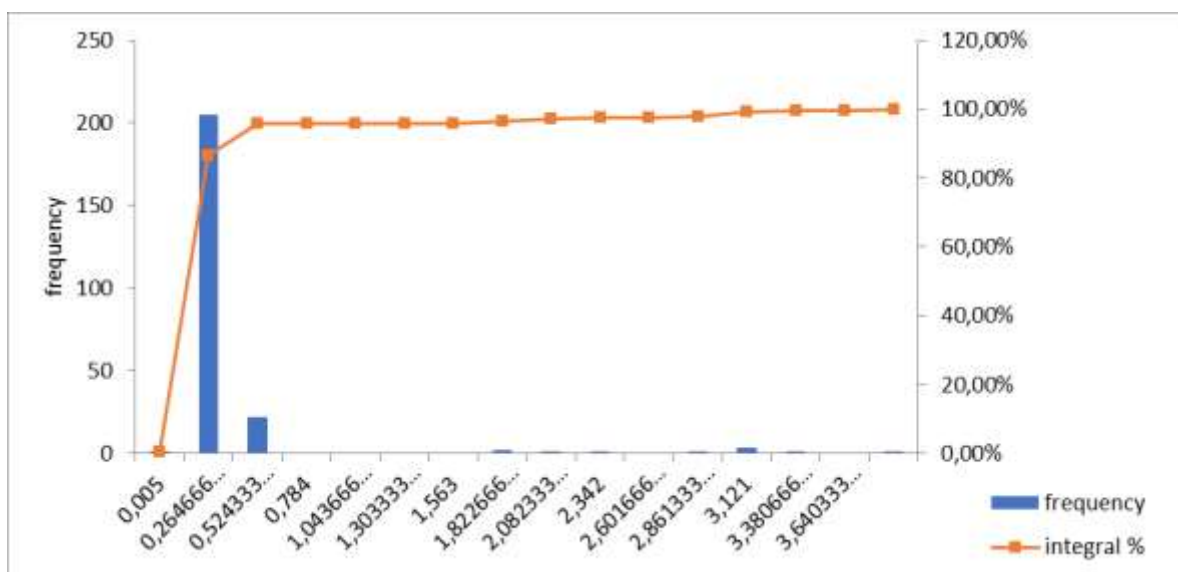


Fig. 10 – Distribution histogram of Dissolved Oxygen Concentrations in Water and Cumulative Sample Percentage (2004 – 2024)

This histogram shows the frequency distribution of dissolved oxygen levels in the aquatic environment. Most samples fall within the 9–11 mgO₂/dm³ range, indicating a well-oxygenated ecosystem that supports aquatic life. Approximately 90% of the samples exceed 7 mgO₂/dm³, suggesting a stable ecological condition of the water body. Lower oxygen values are rare but should be monitored to prevent hypoxia and associated risks to biodiversity.

In order to determine the dynamics of changes in the level of anthropogenic pressure

on the surface waters of the Danube River (Reni station) and to further forecast in the context of specific pollutants, appropriate regression equations were constructed. Annual average values of harmful substance discharges were used in their construction (thus smoothing the seasonality of pollution).

Figure 11 shows the dynamics of changes in phosphate and ammonium ion concentrations in the water during 2004–2024, along with the corresponding approximating curves.

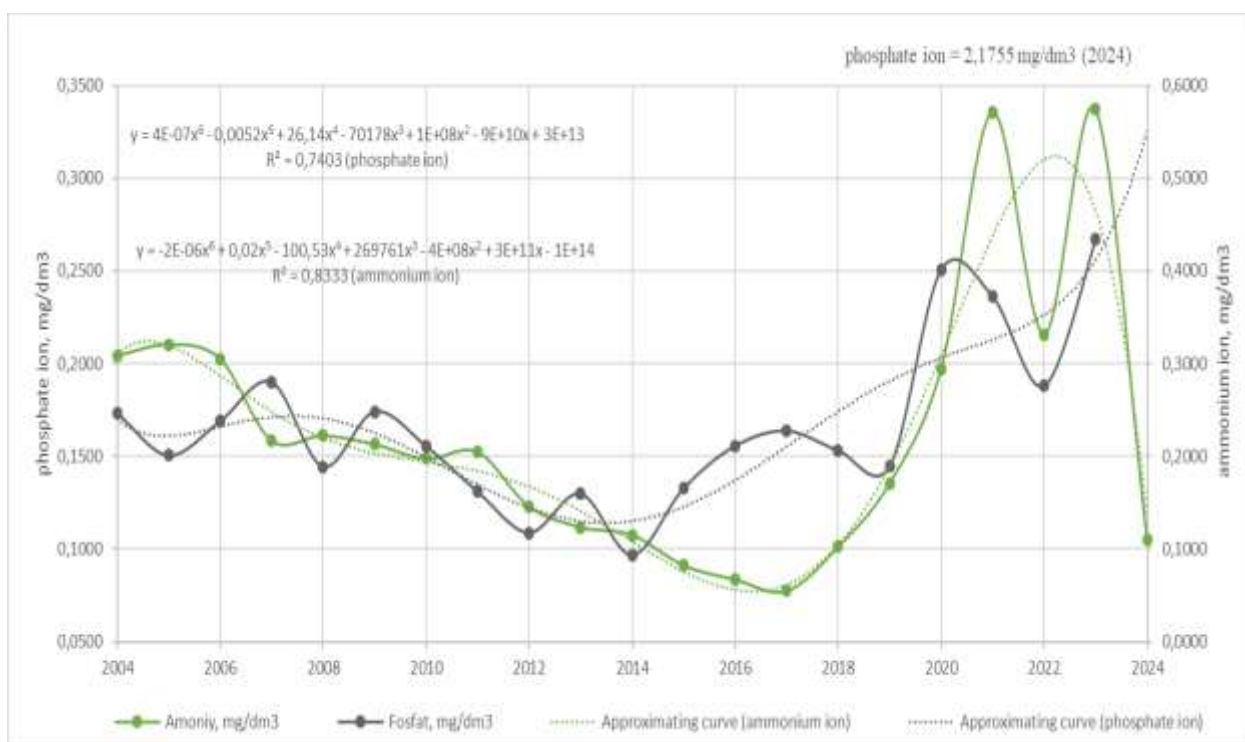


Fig. 11 – Dynamics of phosphate and ammonium ion concentrations in water from 2004 to 2024 and the corresponding approximating curves (2004–2024)

The regression equation of the identified dependence for phosphate ions is:

$$y = 4 \times 10^{-7}x^5 - 5.2 \times 10^3x^4 + 26.14x^3 - 7.0178 \times 10^4x^2 + 1 \times 10^8x - 9 \times 10^{10}x + 3 \times 10^{13},$$

approximation reliability – $R^2 = 0.7403$.

The identified dependencies indicate that a decrease in phosphate ion content in the water is observed periodically, but starting from 2014 the overall level began to increase. When constructing the regression equation, the data for 2024 were not taken into account because they significantly differ from previous years (the average value of the indicator increased to 2.1755 mg/dm³).

The regression equation of the identified dependence for ammonium ions is:

$$y = -2 \times 10^{-6}x^6 + 0.02 \times 10^2x^5 - 100.53x^4 + 2.69761 \times 10^5x^3 - 4 \times 10^8x^2 + 3 \times 10^{11}x - 1 \times 10^{14},$$

approximation reliability – $R^2 = 0.8333$. The identified dependencies indicate that a decrease in ammonium ion content in water is also observed periodically with a general downward trend. However, starting from 2017, the indicators began to rise sharply and significantly decreased to the previous level only in 2024.

Figure 12 presents the dynamics of changes in sulfate and chloride ion concentrations in water from 2013 to 2024 and the corresponding approximating curves.

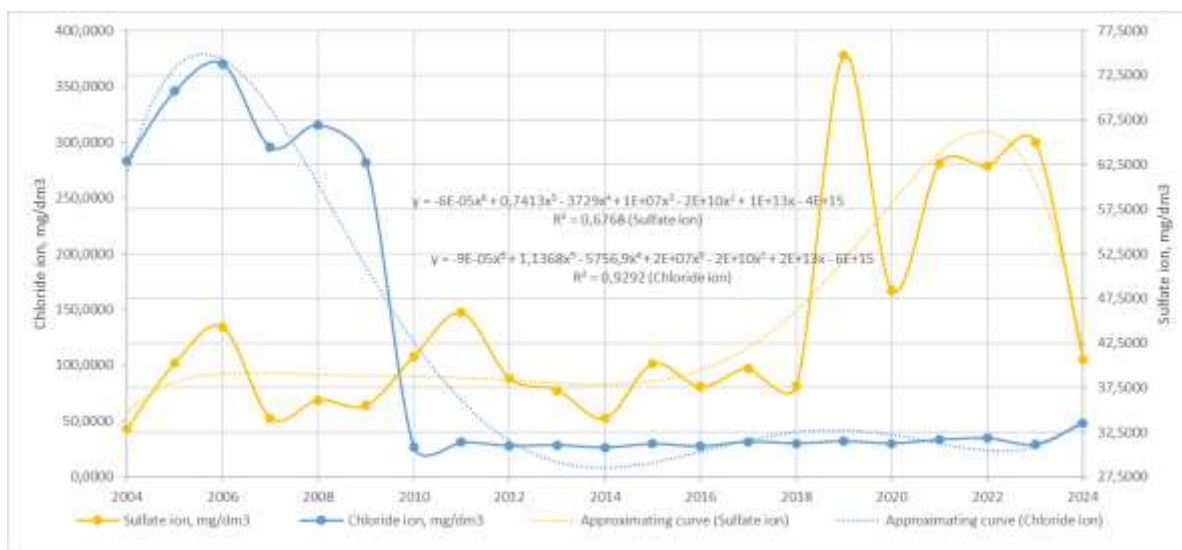


Fig. 12 – Dynamics of sulfate and chloride ion concentrations in water from 2004 to 2024 and the corresponding approximating curves (2013-2024)

The regression equation of the identified dependence for sulfate ions is:

$$y = -6 \times 10^{-5}x^6 + 0.7413x^5 + 1 \times 10^7x^4 - 3.729 \times 10^3x^3 + 1 \times 10^7x^2 + 1 \times 10^{13}x - 6 \times 10^{15},$$

approximation reliability – $R^2 = 0.6768$.

The regression equation of the identified dependence for chloride ions is:

$$y = -9 \times 10^{-5}x^6 + 1.1368x^5 - 5.75569x^4 + 2 \times 10^7x^3 - 2 \times 10^{13}x^2 + 2 \times 10^{13}x - 6 \times 10^{15},$$

approximation reliability – $R^2 = 0.794$. The identified dependencies indicate that the changes in the content of chloride ions in water are also relatively minor. As observed, the content of sulfate ions from 2004 to 2018 fluctuated

around the average level, increased significantly during 2019–2023, and decreased again in 2024. Regarding chloride ions, their content was high until 2010. However, starting from 2011, it significantly decreased and only increased again in 2024.

Therefore, we conducted an additional analysis of the situation from 2010 to 2024 to refine the regression equation. Figure 13 presents the dynamics of changes in the concentrations of sulfate and chloride ions in the water during the period 2010–2024, along with the corresponding approximating curves.



Fig. 13 – Dynamics of sulfate and chloride ion concentrations in water from 2010 to 2024 and the corresponding approximating curves (2010-2024)

The regression equation of the identified dependence for sulfate ions is:

$$y = 2 \times 10^{-4}x^6 - 2.7202x^5 + 1.3705 \times 10^4x^4 - 4 \times 10^7x^3 + 6 \times 10^{10}x^2 - 4 \times 10^{13}x + 2 \times 10^{16},$$

with an approximation reliability of $R^2 = 0.832$.

The regression equation of the identified dependence for chloride ions is:

$$y = -6 \times 10^{-5}x^6 + 0.7413x^5 - 3.729 \times 10^4x^4 + 1 \times 10^7x^3 - 2 \times 10^{10}x^2 + 1 \times 10^{13}x - 4 \times 10^{15},$$

with an approximation reliability of $R^2 = 0.6768$.

Figure 14 presents the dynamics of changes in BOD₅ (Biochemical Oxygen Demand over 5 days) and dissolved oxygen concentrations during the period 2013–2024, along with the corresponding approximating curves.

The identified dependencies show that the lowest levels of this indicator were recorded in 2014 and 2024. Thus, there are opposite trends for BOD₅ and dissolved oxygen, as expected. The obtained results support the assumption of the presence of a self-purification capacity despite existing anthropogenic impacts.

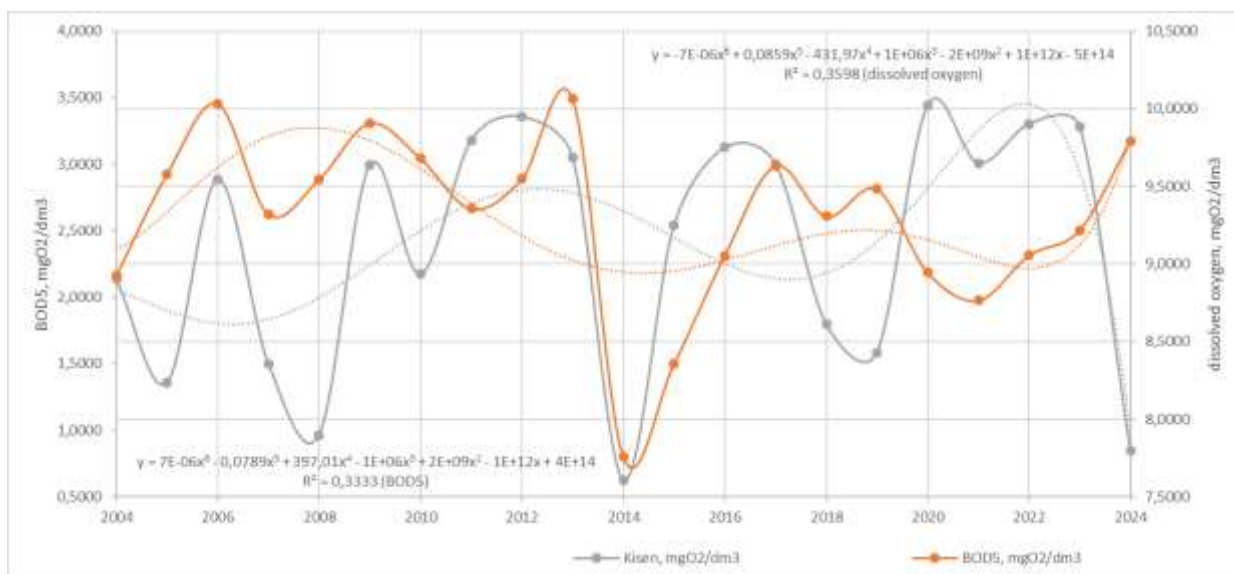


Fig. 14 – Dynamics of BOD₅ and dissolved oxygen concentrations in water from 2013 to 2024 and the corresponding approximating curves (2013–2024)

Conclusions

This study conducted an analysis of the impact of anthropogenic pressure on the state of surface waters in the Danube River. The research covered the period from 2004 to 2024, with a focus on six key water quality indicators: phosphates, ammonium, sulfates, chlorides, biochemical oxygen demand over five days (BOD₅), and dissolved oxygen concentration.

It was established that phosphate and ammonium compounds exhibit seasonal fluctuations due to organic and agricultural discharges. Sulfate concentrations show high variability, influenced by both natural and anthropogenic sources, while chloride levels remain stable, indicating chronic exposure.

The analysis of BOD₅ and dissolved oxygen indicates a potential for self-purification,

although episodes of oxygen depletion were recorded, particularly during periods of local organic overloading and disrupted hydrodynamics.

Developed regression models allowed for the identification of correlations between changes in water circulation, the intensity of port activity, and pollution levels.

The main environmental issues of the lower Danube were identified: organic and mineral pollution, eutrophication, oxygen regime deterioration, hydromorphological alterations, and threats posed by armed conflict. Despite these challenges, the river retains a capacity for partial self-recovery, especially under reduced anthropogenic pressure.

Restoration of ecological balance requires the implementation of systematic monitoring,

modernization of treatment facilities, effective management of pollution sources, and Ukraine's active participation in international environmental regulatory mechanisms such as the Danube

Commission. The modeling results can be used to forecast the state of the aquatic environment in both peacetime and post-war recovery scenarios.

Acknowledgements and Funding Sources

This research was carried out under project No. 0124U004208 "Ecological and Economic Optimization of Logistics Infrastructure under Conditions of War and Post-War Recovery in Ukraine," implemented within the framework of scientific, scientific-technical, and infrastructure projects funded through a special fund formed from the external assistance instrument of the European Union to support Ukraine's commitments under the European Union Framework Programme for Research and Innovation "Horizon 2020."

Conflict of Interest

The author declares no conflict of interest regarding the publication of this manuscript. Furthermore, the author has fully adhered to ethical norms, including avoiding plagiarism, data falsification, and duplicate publication.

References

1. Lozovyt'skyi, P.S. (2013). Tropho-saprobological indicators of water quality in the Danube River – Kiliya City. *Melioration and Water Management*, 100(2), 84–89. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mivg_2013_100%282%29_12 (in Ukrainian)
2. Lozovyt'skyi, P.S. (2010). Specific toxic effects of substances in the water of the Danube River. *Ecological Sciences*, (6), 21–34. Retrieved from <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2014/6/4.pdf> (in Ukrainian)
3. Kudria, V.H., & Kudria, S.P. (2006). Ecological condition of the aquatic environment in the Danube Delta and adjacent part of the Black Sea. *Bulletin of the Odessa State Environmental University*, (2), 19–22. Retrieved from <http://bulletin.odetu.edu.ua/wp-content/uploads/2006/05/3-Kudria.pdf> (in Ukrainian)
4. Tuchkovenko, Y.S. Gavriluk, R.V., & Tuchkovenko, O. A. (2011). Study of the impact of Danube River runoff on the hydrological and hydrochemical characteristics of marine waters. *Proceedings of the ZNT Conference, Odesa*, 53–58. Retrieved from <http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/5412>
5. Shakirzanova, Zh.R., Kichuk, N.S., Romanova, Ye.O., Kichuk, I.D., & Medvedieva, Yu.S. (2020). Study of selected components of the hydrological and hydrochemical regimes of the Danube River in the Ukrainian section (Reni–Izmail). *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, (26), 102–115. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Uggj_2020_26_11 (in Ukrainian)
6. Kuleshova, S.S. (2024). Ecological assessment of water quality in the mouth section of the Danube River in areas of drinking water intake. Zaporizhzhia: Zaporizhzhia National University. Retrieved from <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/19625> (in Ukrainian)
7. Kushchenko, D.P. (2022). Study of water quality in small rivers of the Danube–Dniester interfluvium. Odesa: Odesa State Environmental University. Retrieved from <http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/11148> (in Ukrainian)
8. Romanchuk, M.Ye., & Veslohubova, Z.H. (2024). Assessment of Danube River water quality for domestic and drinking water use. *Water Bioresources and Aquaculture*, 1(15), 137–150. <https://doi.org/10.32782/wba.2024.1.10>
9. Mazhar, L.S. (2011). Use of the Danube–Black Sea deepwater navigation channel through the Bystre mouth: international dispute or situational case? *Current Issues of International Relations*, (99) (Part II), 149–154. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/apmv_2011_99\(2\)_23](http://nbuv.gov.ua/UJRN/apmv_2011_99(2)_23) (in Ukrainian)
10. Shevchuk, A.V. (2023). Legal status of the intergovernmental organization Danube Commission under conditions of technological progress in navigation. *Scientific Bulletin of Uzhhorod National University. Law Series*, 75(2), 62–66. <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2022.75.2.10> (in Ukrainian)

The article was received by the editors 18.04.2025

The article is recommended for printing 21.05.2025

Л. А. ГОРОШКОВА, д-р екон. наук, проф.,

Професор кафедри екології

e-mail: goroshkova69@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7142-4308>

Національний університет «Києво-Могилянська академія»

вул. Сковороди, 2, Київ, 04070, Україна

О. І. МЕНШОВ, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.,

Кафедра геоінформатики

e-mail: menshov@knu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7280-8453>

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

вул. Володимирівська, 60, Київ, 01033, Україна

Ю. Д. КОРНІЙЧУК,

Бакалавр

e-mail: yuliia.korniichuk@ukma.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-0742-3213>

Національний університет «Києво-Могилянська академія»,

вул. Сковороди, 2, Київ, 04070, Україна

С. В. ГОРОШКОВ^{1, 2},

Бакалавр

e-mail: stas20055008@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-4310-9165>

¹*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

вул. Володимирівська, 60, Київ, 01033, Україна,

²*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*,

майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

І. В. РИЖИКОВ,

Аспірант

e-mail: igorrychikov@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-7290-0503>

Національний університет «Києво-Могилянська академія»,

вул. Сковороди, 2, Київ, 04070, Україна

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД РІЧКИ ДУНАЙ

Мета. Надати комплексну екологічну оцінку та здійснити прогнозування стану поверхневих вод річки Дунай у межах української ділянки (Рені – Ізмаїл – Вилкове) з акцентом на динаміку основних гідрохімічних показників за період 2010–2024 років. Особлива увага приділяється впливу антропогенних чинників, зокрема інтенсивному судноплавству, промислового навантаження та екологічним наслідкам воєнних дій, які змінили гідрологічний режим та погіршили якість водного середовища.

Методи. Системний аналіз, методи статистичної обробки, аналіз розподілу та побудова регресійних моделей використані для оцінки ретроспективної динаміки та прогнозування майбутніх тенденцій у якості вод. Джерелом інформації слугували дані довготривалого моніторингу, зібрані на постах у м. Кілія, м. Вилкове та в гирловій частині річки.

Результати. Основна увага зосереджена на шести ключових показниках якості води: фосфати, амоній, сульфати, хлориди, біохімічне споживання кисню протягом п'яти діб (БСК₅) та концентрація розчиненого кисню. Встановлено, що фосфатні та амонійні сполуки демонструють сезонні коливання, зумовлені скидами органічного та аграрного походження. Концентрація сульфатів характеризується свідчить високою мінливістю, яка поєднує природні та антропогенні джерела, тоді як хлориди залишаються стабільними, з ознаками хронічного впливу. Аналіз показників БСК₅ та розчиненого кисню свідчить про потенціал до самоочищення, хоча в окремі періоди фіксується погіршення кисневого балансу, зокрема внаслідок локального перевантаження органікою та порушення гідродинамічного режиму. Розроблені регресійні моделі дозволили встановити зв'язки між змінами у водообігу, інтенсивністю портової діяльності та забрудненням.

Висновки. Встановлено основні екологічні проблеми нижньої течії річки Дунай: органічне та мінеральне забруднення, евтрофікація, зниження кисневого режиму, гідроморфологічні зміни, а також загрози від збройного конфлікту. Попри це, річка зберігає здатність до часткового самовідновлення, особливо за умов зниження антропогенного навантаження. Відновлення екологічної рівноваги потребує впровадження системного моніторингу, модернізації очисних споруд, управління джерелами забруднення та активної

участі України в міжнародних механізмах екологічного регулювання, таких як Дунайська комісія. Результати моделювання можуть бути використані для прогнозування стану водного середовища в умовах як мирного розвитку, так і повоєнного відновлення.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: річка Дунай, поверхневі води, екологічний моніторинг, фосфати, амоній, сульфати, хлориди, розчинений кисень, БСК₅, антропогенний вплив, прогнозування, війна

Список використаної літератури

1. Лозовіцький П.С. Трофо-сапробіологічні показники води р. Дунай. *Меліорація і водне господарство*. 2013. Вип. 100(2). С. 84–89. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mivg_2013_100%282%29_12
2. Лозовіцький П.С. Специфічні речовини токсичної дії у воді річки Дунай. *Екологічні науки*. №6. 2010. С. 21–34. URL: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2014/6/4.pdf>
3. Кудря В.Г., Кудря С.П. Екологічний стан водного середовища дельти річки Дунай і прилеглої частини Чорного моря. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2006. Вип. 2. С. 19–22. URL: <http://bulletin.odeku.edu.ua/wp-content/uploads/2006/05/3-Kudria.pdf>
4. Тучковенко, Ю. С., Гаврилюк, Р. В. Тучковенко, О. А. Дослідження впливу стоку річки Дунай на гідрологічні та гідрохімічні характеристики морських вод. Матеріали конференції ЗНТ, Одеса. 2011. С. 53–58. URL: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/5412>
5. Шакірзанова Ж.Р., Кічук Н.С., Романова Є.О., Кічук І.Д., Медведєва Ю.С. Дослідження окремих складових гідрологічного та гідрохімічного режимів річки Дунай на українській ділянці Рені–Ізмаїл. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. №26. С. 102–115. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Uggi_2020_26_11
6. Кулешова С.С. Екологічне оцінювання якості води гирлової ділянки р. Дунай в районах питних водозаборів. Запоріжжя: ЗНУ, 2024. 60 с. URL: <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/19625>
7. Кущенко Д.П. Дослідження якості води малих річок межиріччя Дунай–Дністер. Одеса: ОДЕКУ, 2022. 87 с. URL: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/11148>
8. Романчук М.Є., Веслогузова З.Г. Оцінка якості вод річки Дунай для господарсько-питного водокористування. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2024. №1(15). С. 137–150. DOI: <https://doi.org/10.32782/wba.2024.1.10>
9. Мажар Л.С. Використання суднового ходу Дунай – Чорне море через гирло Бистре: міжнародний спір чи ситуація. *Актуальні проблеми міжнародних відносин*. 2011. Вип. 99 (ч. II). С. 149–154. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/apmv_2011_99\(2\)_23](http://nbuv.gov.ua/UJRN/apmv_2011_99(2)_23)
10. Шевчук А.В. Правовий статус міжурядової організації Дунайської комісії в умовах технічного прогресу судноплавства. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Право*. 2023. Вип. 75(2). С. 62–66. DOI: <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2022.75.2.10>

Стаття надійшла до редакції 18.04.2025

Стаття рекомендована до друку 21.05.2025

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-02>
УДК (UDC) 574.5:639.3(477.41)

П. С. ЛОЗОВІЦЬКИЙ, канд. технічн. наук,
доцент кафедри екологічної безпеки,
e-mail: Lozov1956Pavlo@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-0439-878X>
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
вул. Володимирська, 60, Київ, 01033, Україна

ВИТРАТИ ТА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ВОДИ НАЙБІЛЬШОГО ПРИПЛИВУ РІЧКИ РОСІ – РІЧКИ РОСТАВИЦЯ

Мета. Установити витрати та екологічний стан води річки Роставиця, оцінити придатність води для питного, сільськогосподарського, промислового водопостачання та зрошення за іригаційними показниками.

Методи. Системний аналіз, методи математичної статистики.

Результати. Приведено аналіз багаторічних (1940-2019 рр. з перервами) результатів дослідження морфологічних параметрів русла, щоденних, місячних, середніх, максимальних і мінімальних за рік витрат води, динаміку хімічного складу, мінералізації води р. Роставиця та стан забруднення біогенними й специфічними речовинами токсичної дії у порівнянні за різні періоди часу: 1940-1947, 1972-1980, 2003-2010, 2011-2020, 2021-2022 роки. Визначено, що через значне урегулюванням стоку, у весняну повінь характеризується повільним зростанням рівнів, найбільші місячні витрати води характерні для квітня. За хімічним складом вода р. Роставиця у 2000-2022 роках характеризується середніми величинами мінералізації, гідрокарбонатна, кальцієва, середньо жорстка, слабо лужна. Найвищі концентрації солей відмічено у 2007, 2016 та 2018 роках. Забруднення води р. Роставиці нітритним азотом оцінюється як стійке, помірно-сильно забруднене, нітритним азотом – стійке, помірно-сильно забруднене, нітратами – вода брудна. За індексом забруднення води – вода помірно забруднена.

Висновки. Найбільші місячні витрати води річки Роставиці характерні для квітня, за хімічним складом і мінералізацією вода придатна для водопостачання, але наявність у її складі токсичних елементів і таких речовин як заліза, марганцю, нікелю, свинцю, кадмію, фенолів, нафтопродуктів, то вимагається водопідготовка та очищення.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: параметри русла, витрати води, мінералізація, хімічний склад, біогенні речовини, важкі метали, забруднення

Як цитувати: Лозовіцький П. С. Витрати та екологічний стан води найбільшого припливу річки Росі – річки Роставиця. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2025. Вип. 32. С. 23-38. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-02>

In cites: Lozovitsky, P. S. (2025). Costs and water ecological state of the greatest inflow of Rosi river – river Rostavitsya. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (32), 23-38. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-02> (in Ukrainian)

Вступ

Актуальність дослідження полягає в визначенні екологічного стану річки Роставиця через надмірне врегулювання стоку (280 ставків та 11 водосховищ об'ємом 41 млн. м³ при середньому річному об'ємі стоку 101 млн. м³), замулення лож водосховищ, ставків, та русел малих річок, де об'єм водосховищ та ставків втрачено на 50-60 відсотків та не проводяться роботи з очищення.

Разом з тим, річка є основним джерелом питного й сільськогосподарського водопостачання (Козятин, Ружин, Верхівня, Строків, Матюші й ін.) через відсутність необхідних запасів підземних вод в межах Українського кристалічного щита, де кристалічні породи місцями виходять на поверхню землі. Води Роставиці та Кам'янки найбільше поповнюють Білоцерківське

водосховище, яке є джерелом водопостачання Білої Церкви та Умані [1]. У роботі Нестерової О.В. й ін. [2], зазначено, що через антропогенне забруднення до водоймищ України потрапляє величезна кількість солей та значна частина стоків тваринницьких комплексів, залишків мінеральних добрив, отрутохімікатів, які змивається й потрапляють у воду малих річок потім транспортуються у Дніпро.

За дослідженнями Гололобової О. О., Дорогань В. В. [3] малі річки Полтавської області знаходяться під значним антропогенним впливом (в тому числі гірничовидобувної та нафто-газопереробної промисловості), їх екологічний стан оцінюється як екологічний регрес.

За дослідженнями Нагаєва С.П., Романчук М.Є., Кучеренко Л.Ю. [4], Тучковенко Ю.С., Сапко О.Ю., [5] малі річки Одеського регіону зазнають високого рівня антропогенного навантаження за рахунок скиду комунально-побутових стічних вод і змиву із сільськогосподарських полів токсикантів, тому існує потреба у розробці необхідних заходів щодо охорони та поліпшення якості річкових вод.

Проблемі забруднення річок Півдня України компонентами сольового складу (хлоридами, сульфатами), біогенними сполуками азоту й фосфору, органічними речовинами, важкими металами, нафто-продуктами, СПАР, фенолами й високій мінералізації присвячені роботи Лозовіцького П.С. [6], Лободи й ін. [7].

У статті Луцької О.В., Герасимчук О.Л., Кагукіної А.М. [8] приведено результати якості поверхневих вод Житомирщини – джерел питного водопостачання з перевищеннями ГДК для питної води за залізом загальним, нітратами, нітритами, СПАР, хлоридами, фосфатами, цинком, хромом, марганцем та їх негативним впливом на організм людини.

Войціцький В. М. зі співавторами [9] стверджують, що основними забрудниками довкілля, які спричинили техногенне навантаження на об'єкти довкілля, є важкі метали, стійкі органічні забрудники (поліциклічні ароматичні вуглеводи), різноманітні відходи і пестициди.

Безпосередньо мінералізацію та якість води в басейні річки Рось, в тому числі й Роставиці висвітлено у працях С.І. Сніжка [10, 11], У роботі [11] розглянуті природні

умови та основні види господарської діяльності, які впливають на гідрохімічний режим річок Житомирської області. Наведена характеристика хімічного складу води річок, сезонні та багаторічні зміни їхнього гідрохімічного режиму.

У статті М'яновської М.Б., Давидова І.В. [12] надано оцінку екологічного стану основних річок Житомирської області. Проаналізовано використання та водовідведення води, визначено основні підприємства-забруднювачі водних об'єктів; досліджено зміну гідрохімічних показників води основних річок Житомирської області внаслідок антропогенного навантаження; здійснено оцінку якості води у досліджуваних створах за допомогою комплексного екологічного індексу.

Халтурін М.Б. зі співавторами [1] провели дослідження фізико-хімічних показників складу води (іонний склад, газовий режим (концентрація розчинених газів), біогенні сполуки, органічні речовини) у водосховищах на Роставиці у 2007 – 2011 рр., стандартними методами гідрохімічних досліджень з метою оцінювання водойм на придатність для виробництва.

У статті Лозовіцького П.С., Молочка А.М. [14] розглянуто закономірності зміни хімічного складу води річки Рось у часі (1939-2000 рр.), виявлено кореляційні зв'язки між умістом головних іонів та мінералізацією води, а також між витратами води та мінералізацією стоку, показано тенденції зміни хімічного складу природної води річки у часі за оцінкою О.А. Альокіна. Констатовано, що вода Росі забруднена біогенними речовинами, СПАР, фенолами, нафтопродуктами, важкими металами. Частина проб води містила залишки пестицидів.

На малій річці Роставиці з 1976 р. закритий гідрологічний та гідрохімічний пост першого розряду загальнодержавного моніторингу Держгідрометслужби України. Дослідження проводяться на місцевому рівні за програмою постів 2-3 розряду у рамках Басейнового управління річки Рось (управління знаходиться у Білій Церкві), де не визначають витрат води та наносів.

Мета. Установити витрати та екологічний стан води річки Роставиця, оцінити придатність води для питного (міста Козятин, Ружин і інші сільські населені пункти вздовж

русла), сільськогосподарського (тваринницької ферми, переробні підприємства) промислового водопостачання (підприємства Козятина,

Ружина) та зрошення за іригаційними показниками

Методи дослідження

Об'єктом дослідження є формування екологічного стану води річки Роставиця.

Предмет дослідження – параметри стоку, витрати та багаторічні результати хімічного складу води за даними моніторингу і їх відповідність нормативним документам України на використання водних ресурсів в різних галузях та можливі заходи поліпшення якості.

Фактичний матеріал моніторингу опрацьовано за гідрологічними й гідрохімічними щорічниками за 1940–2018 роки, що опрацьовані автором у архіві Обсерваторії ім. Б. Б. Срезневського [15, 16]. Використано місячні, кварталні й річні результати моніторингових досліджень хімічного складу води річки Роставиці на території Київської області в рамках Басейнового управління річки Росі у селі Матюші за 2003–2022 роки. У межах Житомирської області враховано результати періодичних досліджень хімічного складу води у смт. Ружин та с. Строків (на межі з Київською областю), що проводилися організаціями підзвітними

Житомирському обласному центру з гідрометеорології (тепер перейменовано у Басейнове управління річки Прип'ять) та обласної санітарно-епідеміологічної станції [17–19] з використанням методів математичної статистики.

На основі зібраних автором результатів хімічних аналізів води, складено банк даних за показниками: вміст головних іонів (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-), загальна мінералізація води (М), величина рН, вміст біогенних речовин (N-NH_4^+ , N-NO_2^- , N-NO_3^-), загального азоту й фосфору, мінерального фосфору (P-PO_4^{3+}), зважених речовин, вмісту кисню (O_2 , мг/дм³), біохімічне споживання кисню за 5 діб (БСК_5), вміст важких металів (Fe^{3+} , Cr^{3+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Sr^{6+}), фенолів, нафтопродуктів (НП), синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР), залишків деяких пестицидів. Паралельні статистичні ряди даних хімічних аналізів містили до 166 значень за 1940–2022 рр. з перервами.

Результати досліджень та їх обговорення

Морфологічні параметри русла. Річка Роставиця – лівий і найдовший приплив р. Рось. Довжина (за уточненими у 2015 р. даними Басейнового управління річки Рось [21]) 124,2 км, площа басейну 1432 км². Долина трапецієвидна, ширина до 2,5 км, глибиною до 40 м. Заплава у верхів'ї заболочена, нижче – осушена, ширина заплави 200 м. Річище звивисте, на окремих ділянках розгалужене шириною до 20 м, глибиною до 2–2,5 м, швидкість течії 0,1–0,2 м/сек. Похил річки 1,3 м/км [20, 21].

Роставиця бере початок на південній околиці Козятина Вінницької області з висот 315–321 метрів, тече Придніпровською височиною через Ружин Житомирської області. У Білоцерківському районі Київської області впадає до Росі. Місцями по берегах спостерігаються виходи кристалічних порід.

Живлення мішане дощово-снігове. Середня витрата води у гирлі Роставиці

становить 3,59 м³/с [21]. Замерзає наприкінці листопада – на початку грудня, скресає на початку березня.

Припливи. Струмок Роставиця, Фоса (праві); Ситна, Шапова, Мурованка, Яр Цапиного Хутора, Постіл, Паволочка, Новосілка (ліві) [21].

Режим роботи ставків та водосховищ визначається фазами водного режиму р. Роставиця. Вони є джерелом господарсько-побутового й сільськогосподарського водопостачання прилеглих населених пунктів, зрошуваного землеробства, риборозведення, рекреації. Один з найстаріших у Басейні Росі водозабір у верхів'ї річки Роставиця використовується для промислового водопостачання підприємств м. Козятин з 1904 року [21].

Стік річки дуже зрегульованим ставками. Морфологічні параметри одного з них наведено нижче (рис. 1) [22].

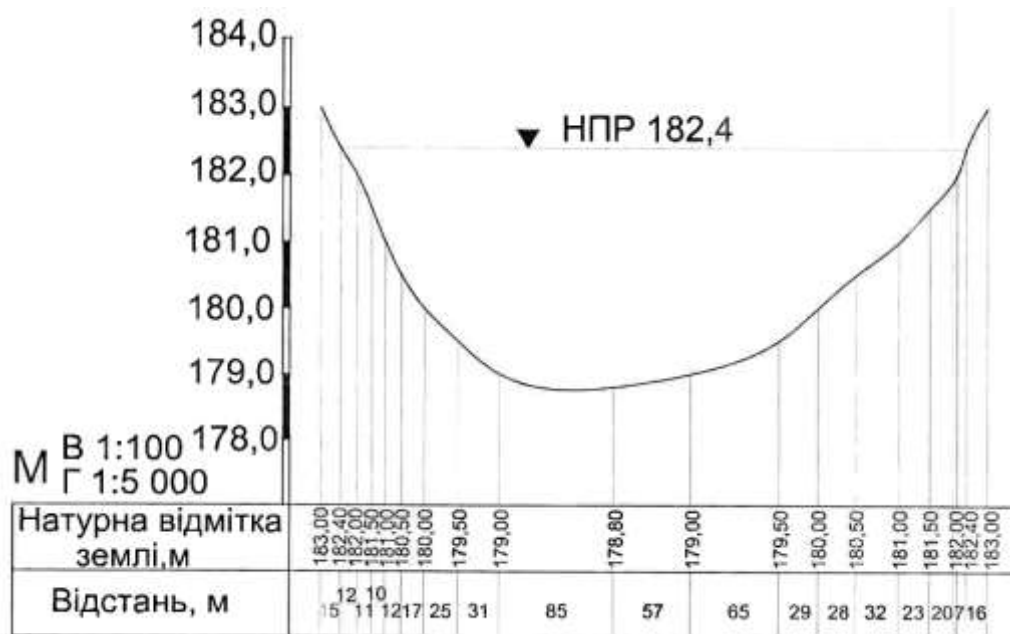


Рис. 1 - Морфологічні параметри русла річки Роставиця (ставка Строків) на межі Житомирської та Київської областей [22]

Fig. 1 - Morphological parameters of the Rostavytsia riverbed (Strokiv dam) on the border of Zhytomyr and Kyiv regions [22]

Протягом найбільш повноводного за час досліджень 1970 року проведені чергові виміри витрат води річки Роставиця в с. Матюши [20, 21]. За обробленими й систематизованими автором результатами за методикою Галущенко [23] цих досліджень ширина річки змінювалася від 10,1 до 49,5 м при середньому значенні 22,33 м. Середня глибина води річки складала 0,17-1,45 м при найбільшій глибині – від 0,89 до 1,94 м. Площа поперечного перерізу водного потоку річки змінювалася від 0,71 до 99,6 м² при середньому значенні 21,43 м². Середня швидкість потоку води змінювалася від 0,11 до 0,73 м/с при середньому багаторічному значенні 0,42 м/с. Максимальні швидкості потоку води річки змінювалися від 0,16 до 1,04 м/с. Виміряні витрати води за цей період змінювалися від 0,092 (6.02.1970 р.) до 64,5 (24.03.1970 р.) м³/с. Середня виміряна багаторічна витрата води становила 12,84 м³/с (табл. 1).

Проведеним регресійним аналізом результатів вимірювання параметрів русла річки Роставиця на гідрологічному посту с. Матюши встановлено, що витрата води (Q) та площа поперечного перерізу (F) має тісну кореляційну залежність (коефіцієнтах кореляції 0,995 та 0,996, відповідно) із вимі-

рюваним рівнем води річки (h) відносно умовного нуля (184,82 м БС) [21, 22] й описуються поліноміальними рівняннями третього порядку (рис. 2) (коефіцієнти детермінації 0,9908 та 0,9918, відповідно).

$$Q = 1E-05h^3 - 0,0063h^2 + 0,668h + 20,398.$$

$$F = -2E-05 h^3 + 0,0113 h^2 - 1,2793 h + 44,343$$

Крім цього, встановлено залежність середньої глибини потоку води (D) від ширини потоку (W) води в річці (рис. 3) з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,94$:

$$D = 0,03W - 0,07$$

Встановлено також, поліноміальну залежність швидкості водного потоку (V) від площі поперечного потоку води (S) річки Роставиця в період весняного водопілля та паводкових дощів в інші періоди року (рис. 4) на гідрологічному пункті с. Матюши:

$$V = 2 \cdot 10^{-06} \cdot S^3 - 0,0003 \cdot S^2 + 0,056 \cdot S + 0,2338$$

Режим рівнів води. У зв'язку з дуже значним урегулюванням стоку, великою кількістю ставків та водосховищ основна фаза водного режиму (весняне водопілля) характеризується повільним зростанням рівнів (до 0,08–0,15 м/добу, при дуже теплій

Таблиця 1

**Узагальнені результати багаторічних витрат води й характерних параметрів стоку річки Рос-
тавиця – с. Матюши за 1937-1975 роки з перервами**

Table 1

**Generalized results of long-term water consumption and characteristic parameters of the Rostavytsia
River - Matyushi village for 1937-1975 with interruptions**

Місяць року	Мін.	Макс.	Середнє	Медіана	Станд. похибка	Станд. відхилення	Рівень надійності
1	0,08	4,13	1,50	1,42	0,19	1,01	0,39
2	0,54	9,72	2,81	1,94	0,47	2,49	0,96
3	1,64	24,7	10,54	8,28	1,34	7,21	2,74
4	1,14	41,3	9,48	4,46	2,00	10,81	4,11
5	0,56	4,7	2,35	2,01	0,23	1,22	0,46
6	0,50	6,83	2,30	1,82	0,32	1,72	0,65
7	0,23	5,27	1,90	1,30	0,27	1,41	0,54
8	0,18	3,00	1,15	1,03	0,13	0,67	0,26
9	0,18	5,00	1,60	1,42	0,25	1,32	0,52
10	0,064	6,52	1,96	1,46	0,33	1,68	0,68
11	0,062	4,46	2,02	1,94	0,25	1,28	0,52
12	0,39	4,44	1,99	1,82	0,23	1,21	0,48
За рік	1,06	5,73	3,24	3,04	0,26	1,32	0,54
Максим.	6,55	184,00	62,28	58,4	9,45	52,64	19,31
Мінімал	0,019	1,06	0,30	0,22	0,048	0,24	0,10
Параметри стоку за рік, л/с/км ² , мм, млн. м ³							
Модуль	0,76	4,12	2,33	2,19	0,19	0,95	0,39
Шар, мм	24	130	72,8	69,0	5,91	29,56	12,20
Об'єм	33,36	180,70	101,24	95,91	8,22	41,08	16,96

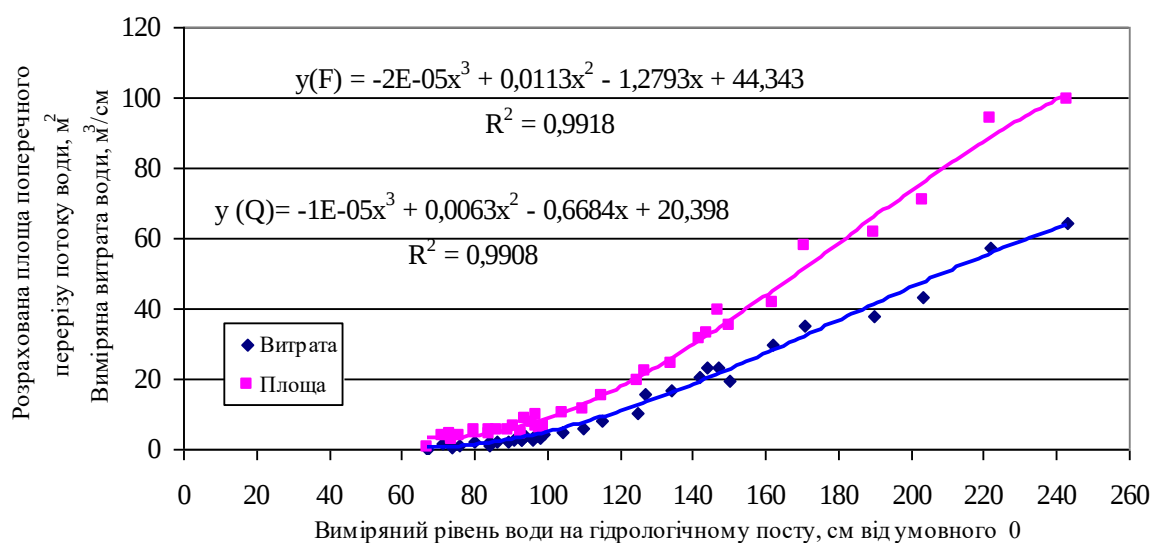


Рис. 2 – Залежність витрати води та площі поперечного перерізу потоку води від виміряного рівня води в річці Роставиця на гідрологічному пункті с. Матюши

Fig. 2 – Dependence of water flow and cross-sectional area of water flow on the measured water level in the Rostavytsia River at the hydrological point of the village of Matyushy



Рис. 3 – Залежність між шириною потоку води річки Роставиця та середньою глибиною води у пункті спостережень с. Матюши

Fig. 3 – Relationship between the width of the Rostavytsia River water flow and the average water depth at the observation point of the village of Matyushy

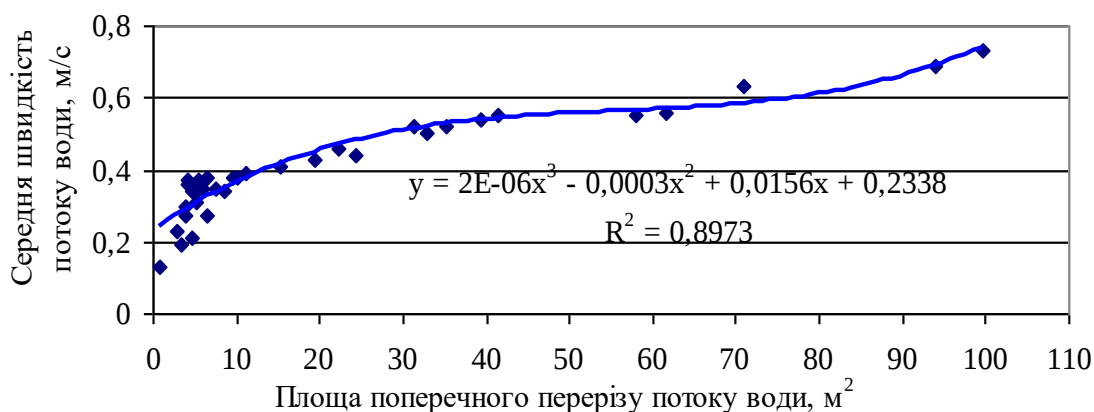


Рис. 4 – Залежність середньої швидкості потоку води від виміряної площі поперечного перерізу потоку води (гідрологічний пост с. Матюши)

Fig. 4 – Relationship average water flow velocity between the measured cross-sectional area water flow (hydrological point of the Matyushy village)

і сніжній весні – до 0,3 м/добу). Висота найвищого рівня весняного водопілля над умовним нулем в різні роки досягає 0,12-0,55 м [20, 21].

Витрати води. Гідрологічні спостереження на річці Роставиця – с. Матюши проводили та є опубліковані дані за період 1937-1975 років з перервами. При створенні банку даних фактичних витрат за місяцями й роками кількість показників вибіркового ряду складала від 23 (середня річна витрата, модуль стоку, шар стоку, об'єм стоку) до 28

(найбільша за рік витрата) значень. Середні річні витрати води в річці Роставиця становили 1,06 (1964 р.) – 5,73 (1970 р.) м³/с. Найбільші місячні витрати води характерні для квітня – 41,3 м³/с, найменші – листопада 0,062 м³/с. Максимальні витрати води річки 184 м³/с (4.04.1962 р.), 140 (18.03.1966 р.) [20, 21].

Модуль поверхневого стоку з басейну річки від 0,76 (1964 р.) до 4,12 (1970 р.) л/с/км². Шар стоку з території басейну р. Роставиця від 24 (1964 р.) до 130 мм (1970

р.), а об'єм стоку від 33 (1964 р.) до 180,7 (1970 р.) млн. м³ за рік (табл. 1).

Природний режим річки Роставиця порушений регулюючим впливом гребель, ставків, водосховищ, забором води на водокористування. На річці з 1904 р. працює один з найстаріших у басейні Росі водозабір водопостачання промислових міст Козятина. Це певною мірою позначається на зни-

женні стоку наносів. Середні місячні витрати наносів у воді річки Роставиця змінювалися від 0,001 (18-25.09.1975 р., осіння межень) до 2,8 (квітень 1969 р., весняна повінь) кг/с при середніх значеннях за місяць від 0,011 (лютий) до 0,482 кг/с (квітень). Виміряні витрати наносів за посушливий 1975 р. при витраті води 1,61 м³/с нижчі в середньому – 0,016 кг/с (табл. 2).

Таблиця 2

Витрати зв'язаних наносів у річці Роставиця – с. Матюши в 1963-1975 роках

Table 2

Suspended sediment discharge in the Rostavytsia River – Matyushi village in 1963-1975

	Щомісячні витрати наносів, кг/с											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Середня	0,068	0,011	0,368	0,482	0,092	0,076	0,0139	0,0069	0,0105	0,028	0,0194	0,0148
Максим.	0,011	0,026	1,08	2,80	0,065	0,225	0,034	0,012	0,019	0,0130	0,087	0,071
Мінімал.	0,004	0,006	0,009	0,006	0,010	0,015	0,004	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002
	Мутність води, г/м ³											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Середня	6,75	6,61	14,13	13,17	9,62	20,07	15,53	6,81	8,49	8,27	8,13	11,21
Максим.	16,6	15,3	42,0	36,0	22,50	70,00	24,00	14,00	11,29	13,40	14,00	21,00
Мінімал.	1,70	0,10	3,50	1,48	4,50	3,40	5,40	3,80	1,30	4,60	4,30	4,80

Середня мутність води річки Роставиця змінювалася від 0,1 (лютий.1975 р.) до 70 (3 декада 1970 р.) г/м³. Найменша мутність води спостерігається зимою (січень, лютий) та в період літньої межень (серпень), різко зростає при проходженні дощових паводків (табл. 2).

Хімічний склад води. Гідрохімічні показники води річки формуються під впливом комплексу природних та антропогенних чинників. До перших належать геофізичні особливості басейну, вимивання мінеральних речовин із гірських порід, ґрунтів, склад підземних вод. Певну роль відіграють процеси сповільнення швидкості течії, застою

води й замулення у водосховищах та ставках. Другий фактор – це скиди стічних вод, змив поверхневим стоком із полів мінеральних та органічних добрив. Значний вплив на якість води мають аварійні ситуації на підприємствах агропромислового комплексу та хімічної промисловості у верхів'ях річки.

Вода р. Роставиця у 2000-2022 роках характеризується середніми величинами мінералізації (прісна, α-полігалінна, 2 к. я., близько 480 мг/дм³), гідрокарбонатна, кальцієва, середньо жорстка (близько 5 ммоль/дм³), слабо лужна (табл. 3, рис. 5, 6). Домінуючими іонами є гідрокарбонатні й кальцієві [24, 25].

Таблиця 3

Мінералізація та вміст головних іонів у воді р. Роставиця – с. Матюши за різні періоди спостережень, мг/дм³

Table 3

Mineralization and content of main ions in the water of the Rostavytsia River - Matyushi village for different periods of observation, mg/dm³

Інгредієнти	За весь період досліджень 1940-2022 рр.						За короткі відрізки часу					
	Мінімальні	Максимальні	Середні	Станд. похиб	Станд. відхил	Надійн 95%	1940-1947	1972-1980	1993-2000	2000-2010	2011-2020	2021-2022
CO ₃ ²⁻	0	18	0,81	0,24	2,68	0,48	0	0	0,78	0	2,03	2,29
HCO ₃ ⁻	174,5	492,0	283,51	5,53	69,90	10,91	266,62	250,99	269,17	295,47	297,10	290,37
SO ₄ ²⁻	3,4	115,2	32,62	1,31	16,56	2,59	10,7	23,62	31,43	29,54	37,84	37,19
Cl ⁻	4,0	65,0	30,91	0,73	9,18	1,43	8,18	21,53	28,90	35,78	32,90	33,99
Ca ²⁺	41,6	108,2	64,64	1,10	13,90	2,17	62,36	55,64	60,27	70,51	66,39	65,50
Mg ²⁺	9,2	82,8	21,41	0,62	7,86	1,22	18,54	17,34	20,07	21,00	24,55	23,97
Na ⁺ + K ⁺	0	71,2	26,65	0,84	10,65	1,66	4,62	25,16	25,72	25,91	27,87	28,92
K ⁺	2,3	12,7	5,04	0,17	2,03	0,34			4,35	6,02	5,46	5,22
pH, од	7,16	9,00	7,83	0,03	0,31	0,05	7,4	7,59	7,81	7,83	8,05	8,07
M	177,35	875,6	461,81	8,79	111,22	17,37	355,09	394,30	439,89	484,22	489,15	486,16
Сух.лиш	121,0	633,6	321,18	6,11	77,31	12,07	257,68	268,81	305,31	336,49	340,61	340,97

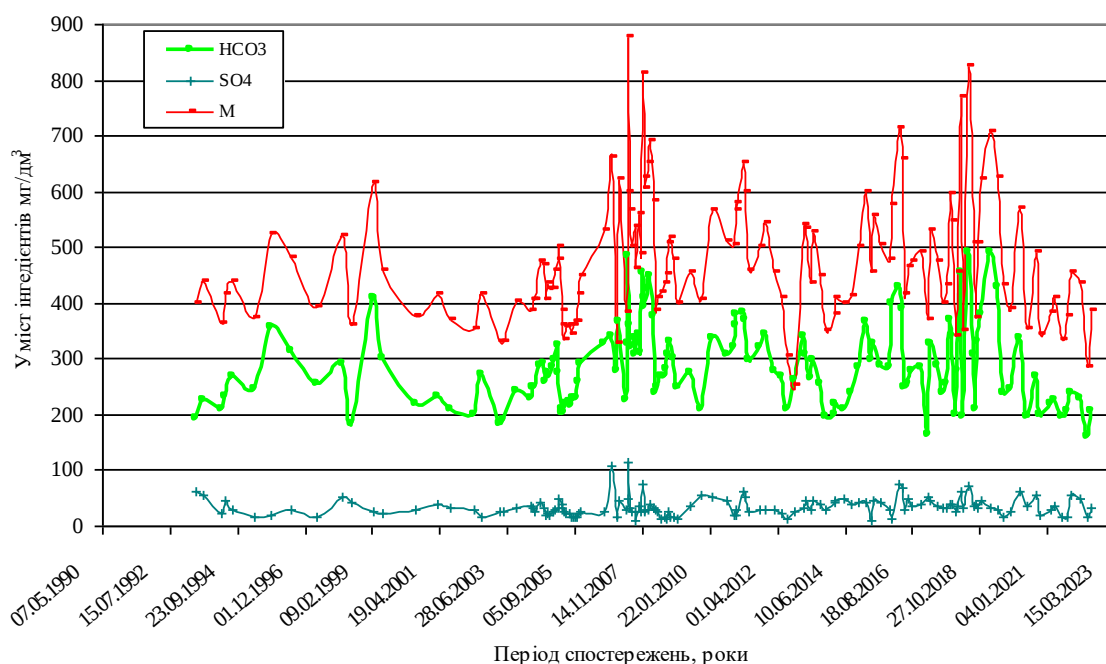


Рис. 5 – Динаміка мінералізації, гідрокарбонатів та сульфатів у хімічному складі води річки Роставиця – с. Матюши

Fig. 5 – Dynamics of mineralization, hydrocarbonates and sulfates in the chemical composition of water of the Rostavytsia River – Matyushy village

Якщо розглянути середню мінералізацію води з 1940 по 2022 роки, то маємо відмітити поступове її зростання за рахунок сульфатів, хлоридів, натрію, а в 2000-2010 роках – гідрокарбонатів.

Протягом останніх 22 років (з 2000 по 2022 рр.) середня мінералізація води за окремі відрізки часу значних змін не має, але найвищі концентрації солей відмічено у 2007, 2016 та 2018 роках (рис. 5, 6).

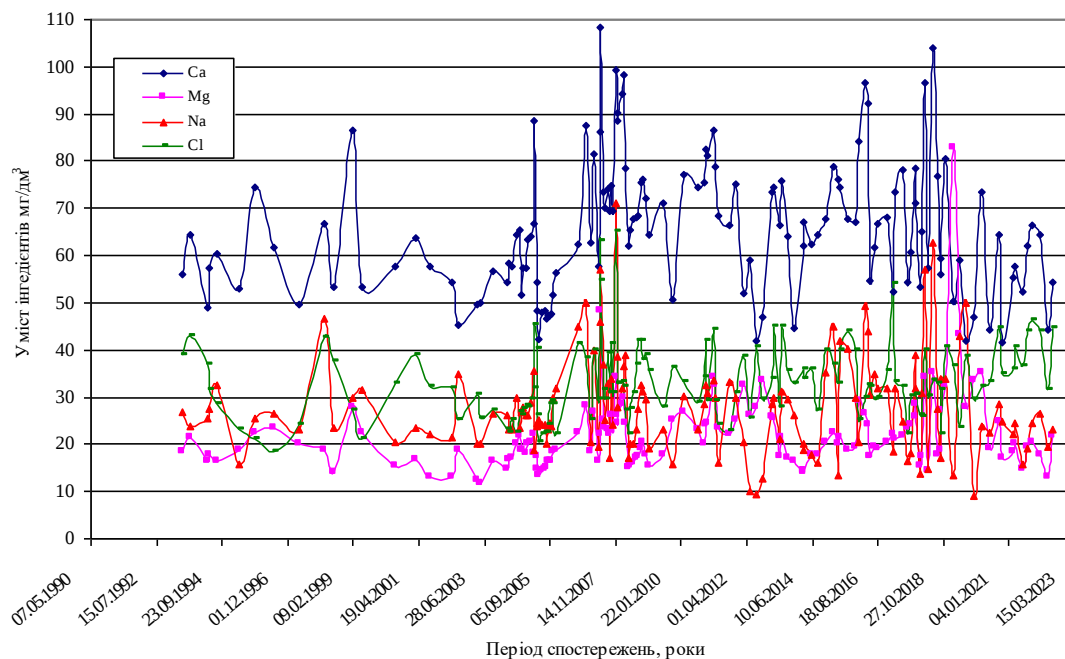


Рис. 6 – Динаміка кальцію, магнію, натрію та хлоридів у хімічному складі води річки Роставиця – с. Матюши

Fig. 6 – Dynamics of calcium, magnesium, sodium and chlorides in the chemical composition of water of the Rostavytsia River – Matyushy village

За екологічними критеріями вмісту компонентів сольового складу вода Роставиці за хлоридами відноситься до 2 категорії якості (к. я.); за сульфатами в середньому – також до другої. За окремими пробами води уміст сульфатів відповідав 5 к. я. [26]. Деякі компоненти хімічного складу води перевищують ГДК для водойм рибогосподарського призначення: сульфати (100 мг/дм³ – дві проби із 166), магній (40 мг³/дм – 3 проби із 166). В деяких пробах води зафіксовано перевищення ГДК для води питного призначення: магній (80 мг/дм³ – 1

проба), рН (6,5-8,5 – 6 проб) [27].

Оцінювання якості води за еколого-санітарними показниками. До трофо-сапробіологічних показників відносять: гідрофізичні – завислі речовини, прозорість; гідрохімічні – рН, N-NH₄⁺, N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, мінеральний та загальний фосфор, уміст кисню (O₂, мг/дм³), біохімічне споживання кисню за 5 діб (БСК₅), перманганатне й біхроматне окиснювання. Вода Роставиці в окремі періоди містить підвищені кількості біогенних речовин, фосфатів, нафтопродуктів (табл. 4).

Таблиця 4

Статистичні характеристики кількісної й якісної мінливості трофо-сапробіологічних показників у воді річки Роставиці, мг/дм³

Table 4

Statistical characteristics of quantitative and qualitative variability of trophic-saprobological indicators in the water of the Rostavitsa River, mg/dm³

Інгредієнти	Уміст інгредієнтів за весь період, мг/дм ³					Уміст за короткі періоди часу, мг/дм ³					
	Мін.	Макс.	Середні	Станд. похиб	Станд. відхил	1972-1980	1993-2000	2000-2010	2011-2020	2021-2022	ГДК, рибо-госп.
рН, од.	7,16	9,00	7,84	0,03	0,31	7,59	7,80	7,83	8,05	8,04	6,6-8,5
NO ₂	0	0,82	0,072	0,010	0,123	0,029	0,030	0,050	0,114	0,047	0,08
NO ₃	0	16,0	1,561	0,149	1,841	0,124	0,926	1,516	1,771	4,535	40,0
NH ₄	0,09	20,40	0,634	0,136	1,604	1,131	0,338	0,725	0,494	0,421	0,50
Фосфати	0,01	1,500	0,231	0,019	0,219	0,037	0,215	0,315	0,235	0,165	3,5
P, заг.	0,03	1,68	0,283	0,020	0,234	0,063		0,370	0,292	0,231	
O ₂ , мгO ₂ /дм ³	1,48	21,8	9,44	0,21	2,59	10,35	8,87	9,30	9,43	9,85	6,00
O ₂ , % насич	32,23	175,01	82,45	1,49	18,72	92,34	80,89	81,24	81,93	84,00	
CO ₂	0	15,4	5,72	0,55	4,56		5,18	5,52	6,65	5,35	
Кольор.	12,0	65,27	25,97	1,17	9,86	22,42	25,60	25,46	31,50	14,31	
Прозорість	5	70	20,48	0,96	9,80	18,66	23,36	20,75	19,30	25,25	
Зваж. речов.	0,5	70,0	12,43	0,87	10,77	23,99	9,68	12,12	11,93	9,38	20,0
Жорсткість	3,14	9,37	4,97	0,09	1,11	4,21	4,62	4,92	5,34	4,35	7,0
Si	0,7	6,9	3,90	0,16	1,28	3,97	3,40	3,42	4,16	3,90	
ПО	3,4	15,9	7,71	0,32	2,48	9,28	5,53	7,89	6,89	7,48	3,0
БО	10,0	230,4	35,14	1,02	11,70	28,38	30,84	39,79	31,69	28,36	15,0
БСК ₅	0,92	8,4	3,93	0,14	1,76	2,79	2,87	4,04	4,31	3,12	2,0
ІЗВ, од	0,61	11,34	1,79	0,11	1,45	2,03	1,93	1,76	2,07	1,59	

За середнім умістом в окремі десятиліття перевищень не було. На рис. 7 приведено результати динаміки зміни від 1993 по 2022 роки температури повітря, вмісту кисню в мг/дм³, а на рис. 8 – зважених речовин та величини рН. Уміст завислих речовин у воді Роставиці змінювався від 0,5 (9.04.1997 р.) до 70 (23.05.1980 р.) мг/дм³, що перевищувало ГДК для водойм рибогосподарського призначення в 2,8 рази (рис. 7).

Уміст найбільш токсичного з сполук азоту – нітритів змінювався від 0 до 0,82

мг/дм³, що в найгіршому випадку перевищує рибогосподарське ГДК 0,08 мг/дм³ у 10,25 рази, а в середньому менше ГДК. Загалом забруднення води Роставиці нітритним азотом оцінюється як стійке, помірно - сильно забруднене, що відповідає 5-7 к. я. [10].

Уміст азоту аміаку у воді річки у деяких випадках перевищував рибогосподарське ГДК (0,5 мг/дм³) у 40 разів і досягав 20,0 мг/дм³. Навіть середні значення за 1972-1980 та 2000-2010 рр. (табл. 4) перевищували ГДК [26].

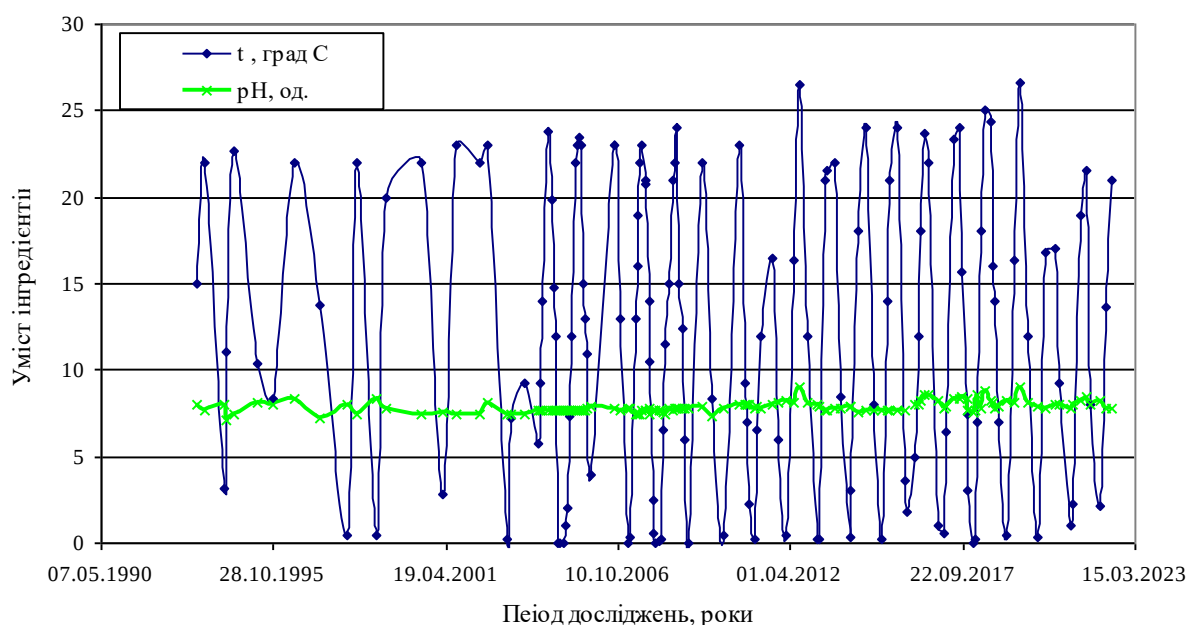


Рис. 7 – Динаміка зміни температури та величини рН у воді річки Роставиця – с. Матюши

Fig 7 – Dynamics of temperature and pH changes in the water of the Rostavytsia River – Matyushy village

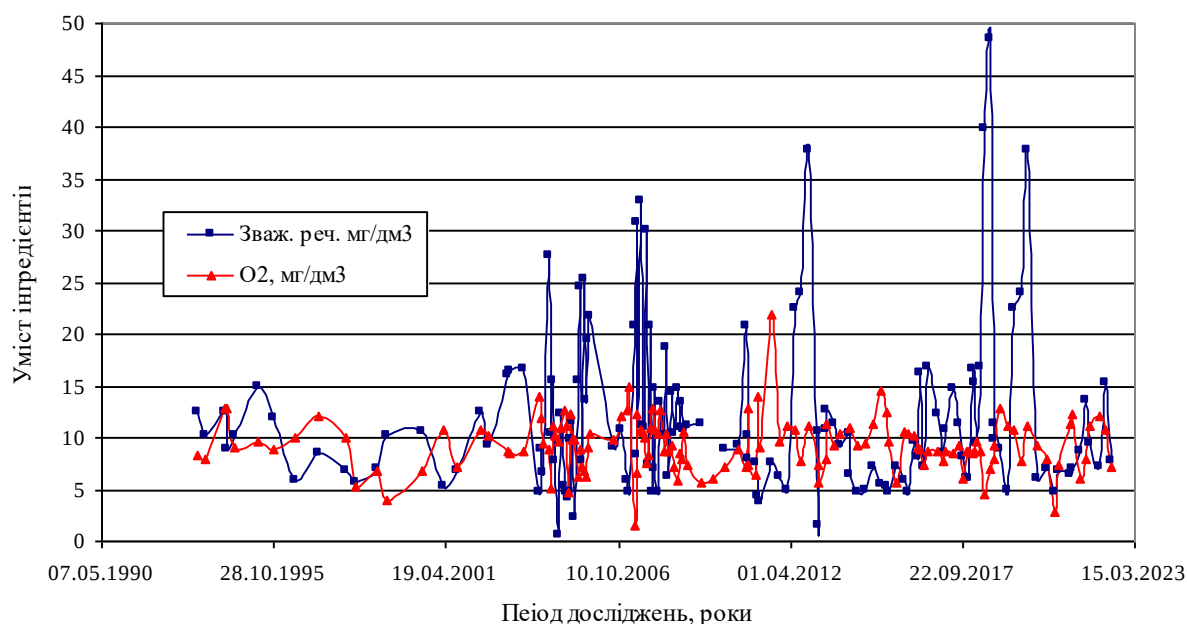


Рис. 8 – Динаміка зміни умісту зважених часток та розчиненого кисню у воді річки Роставиця – с. Матюши

Fig. 8 – Dynamics of changes in the content of suspended particles and dissolved oxygen in the water of the Rostavytsia River – Matyushy village

Уміст нітратів змінювався від 0 до 16,0 мг/дм³ при ГДК 40 мг/дм³. Середнє значення його умісту у воді річки за 2021-2022 роки було найвищим за період спостережень і складає 4,535 мг/дм³, що відповідає 7 к. я. – вода брудна [26].

Перманганатне окиснювання легко окисних органічних речовин у воді річки Роставиця змінювалася від 3,4 (18.10.2005 р. – 1 к. я.) мгО/дм³ до 15,9 (10.08.2010 р. – 6 к. я.) мгО/дм³ (табл. 4). Середньоарифметичне значення ПО у воді Роставиці за весь період

спостережень становило 7,71 мгО/дм³ (3 к. я.), в окремі періоди змінювалось від 5,53 (2000-2010 рр. – 2 к. я.) до 9,28 (1972-1980 рр. – 4 к. я.) мгО/дм³ (табл. 4).

Біхроматне більш повне окиснювання органічних речовин, крім деяких білкових у воді Роставиці за весь період досліджень мало значні коливання в часі – від 10,0 мгО/дм³ (14.09.1980 р.) до 230,4 мгО/дм³ (15.05.2007 р.). Однак, середнє БО в часі мало не значні коливання: від 28,36 (2021-2022 рр. – 4 к. я.), 28,38 (1972-1980 рр. – також 4 к. я.) мгО/дм³ до 39,79 мгО/дм³ (2000-2010 рр. – 5 к. я., табл. 5). Отже, за середньоарифметичним значенням БО вода Роставиці протягом періоду досліджень відносилася до 4-5 к. я. (слабо та помірно забруднена) [26].

Біологічне споживання кисню протягом п'яти діб (БСК₅) для окислення органічних речовин, які містяться у воді, в аеробних умовах змінювалось від 0,92 (27.09.2007 р. – 2 к. я.) до 8,4 (12.08.2018 р. –

7 к. я.) мгО₂/дм³, в середньому 5 к. я. – вода помірно забруднена.

Розрахований індекс забруднення води (ІЗВ) [10] р. Роставиця – с. Матюши за 1972-2022 роки змінювався від 0,61 до 11,34 одиниць при середньому значенні 1,79, що відповідає 3 к. я. – помірно забруднена [10]. Найвищі значення ІЗВ відмічені у 2011-202 роках і складали 2,07 – 3 к. я. – помірно забруднена.

Оцінювання якості води за специфічними речовинами токсичної дії. Уміст у природній воді нафтопродуктів, фенолів, СПАР, фторидів, ціанідів, пестицидів, важких металів та радіоактивності відноситься до специфічних показників токсичної й радіаційної дії. Вода Роставиці часто містить підвищені кількості важких металів (залізо загальне, мідь, цинк, марганець, хром, нікель, свинець, кадмій, кобальт), фторидів, синтетичні поверхнево-активні речовини, залишки пестицидів і інших токсичних речовин (табл. 5).

Таблиця 5

Статистичні характеристики кількісної й якісної мінливості специфічних речовин токсичної дії у воді нижньої течії р. Роставиця, мг/дм³

Statistical characteristics of quantitative and qualitative variability of specific substances of toxic action in the water of the lower reaches of the Rostavytsa River, mg/dm³

Інгредієнти	Уміст, мг/дм ³									ГДК риб- госп
	Мін.	Макс.	Середній	1972- 1980	1993- 2000	2000- 2010	2011- 2020	2021- 2022	ДСан ПіН	
Fe ³⁺	0	2,08	0,246	0,108	0,205	0,265	0,315	0,173	0,2	0,1
Cu ²⁺	0	0,050	0,0088	0,003	0,0063	0,007	0,0098	0,0024	1,0	0,01
Zn ²⁺	0	0,35	0,032	0,013	0,0312	0,023	0,0272	0,0224	1,0	0,01
Cr, заг.	0,001	0,147	0,021	0,0248			0,0152	0,018		
Cr ⁶⁺	0	0,028	0,0041	0,002	0,0041	0,004	0,00284	0,0027	0,05	0,001
Mn ²⁺	0	0,570	0,047	0,012	0,0206	0,018	0,0774	0,0624	0,05	0,01
Ni ²⁺	0	0,040	0,0075	0,002	0,005	0,0102	0,00794	0,0038	0,02	0,01
Pb ²⁺	0	0,014	0,00625	0	0	0,0068	0,00398	0,00828	0,01	0,1
Al ³⁺	0	0,01	0,022	-	0,0015	0,002		0,0012		0,08
Cd ²⁺	0	0,004	0,00038	0	0	0,000268	0,00020	0,00114	0,001	0,005
Co ²⁺	0	0,009	0,0021	-	0,00038	0,00663	0,00083	0,00045	0,1	0,01
Hg ²⁺	0	0,003	0,00051	-	0,00011	0,00025	0,00208	0,0013		0,01 (відс)
As	0,0001	0,01	0,00746	-	0,0078	0,009	0,00986	0,0007	0,01	0,05
Феноли	0	0,015	0,002	0,003	0,003	0,002	0,00217	0,002	0,001	0,001
СПАР	0	0,37	0,017	0,078	0,052	0,017	0,0102	0,059	0,5	0,2
НП	0	0,92	0,061	0,123	0,127	0,049	0,056	0,025	0,1	0,05
F	0,16	0,58	0,26	-	0,234	0,261	0,272	0,281	1,5	

За середнім умістом заліза загального, міді, цинку (за винятком 1972-1980 рр. – 3 к. я.), миш'яку, фтору вода Роставиці у всі періоди досліджень належить до 4 к. я., слабо забруднена), марганцю – 3-4, свинцю – 1-3, хрому загального – 5, нікелю – 3-4, кадмію – 3-5.

Уміст у воді Роставиці нафтопродуктів відповідає 3-5 к. я., СПАР – 3-6, фенолів – 4-5.

Згідно аналізу багаторічної часової динаміки середньорічних значень індексів блоку специфічних речовин води токсичної дії (Із) річкові води басейну Роставиці характеризувалися переважно 4-ою категорією III класу якості вод (“задовільні” за станом, “забруднені” за ступенем чистоти) [26].

Якщо за хімічним складом і мінералізацією вода річки Роставиці придатна для водопостачання [27], то наявність у її складі токсичних елементів і речовин вище граничних ДСанПіНу – заліза, марганцю, нікелю, свинцю, кадмію, фенолів, нафтопродуктів – вимагають від організацій, що надають послуги питного водопостачання – попередньої водопідготовки та очищення.

токсичних елементів і речовин вище граничних ДСанПіНу [27] – заліза, марганцю, нікелю, свинцю, кадмію, фенолів, нафтопродуктів – вимагають водопідготовки та очищення.

Іригаційна оцінка. Іригаційну оцінку якості води для зрошення виконано за Державним стандартом (ДСТУ 2730-94) та найбільш відомими у світі методиками: Буданова, Можейко й Воротнік, Сабольча й Дараб, Департаменту сільського господарства, які детально охарактеризовані у роботі [24].

За показниками іригаційної оцінки Буданова М.Ф. [24] вода р. Роставиця відноситься до придатної для зрошення, яка не потребує поліпшення хімічного складу. Так, співвідношення у воді $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ складає 0,53-0,81, $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ - 0,25-0,50. За методикою Можейко Воротнік $(\text{Na}^+ + \text{K}^+/\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+) \cdot 100 = 0,22-39$ – вода з характеристиками $K = 65$ і менше незагрозливі для осолонцювання ґрунтів. За методикою Сабольча й Дараб $(\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \cdot 100 = 23,47-73,08$ – вода в деяких пробах, що перевищує 50 % загрозлива для магнієвого осолонцювання. Таких проб є 4 протягом 2019 року після самовільного перекриття русла річки Роставиці земляною греблею. За методикою Департаменту сільського господарства США величина $\text{SAR} = 0-2,12$ – загроза засолення й осолонцювання дуже низька (табл. 6) [24].

Таблиця 6
Статистичні характеристики кількісної і якісної мінливості іригаційних показників
води р. Роставиця, мг-екв/дм³

Table 6
Statistical characteristics of quantitative and qualitative variability of irrigation indicators of
Rostavytsa River water, mg-eq/dm³

Інгредієнти	Уміст за весь період, мг-екв/дм ³					Уміст за короткі терміни, мг-екв/дм ³					
	Мін.	Макс.	Середній	Станд. похибка	Станд. відхил.	1940-1947	1972-1980	1993-2000	2000-2010	2011-2020	2021-2022
pH, од	7,16	9,00	7,82	0,024	0,295	7,4	7,59	7,80	7,83	8,05	8,04
$\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$	0	1,035	0,358	0,0095	0,121	0,056	0,358	0,394	0,373	0,365	0,335
$\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$	0	0,494	0,232	0,0058	0,075	0,034	0,239	0,257	0,247	0,228	0,219
Сума $\text{I}/\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$	1,999	2,948	2,502	0,012	0,158	2,068	2,477	2,562	2,539	2,494	2,491
$(\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}) \cdot 100$	23,47	73,08	34,79	0,49	6,33	31,47	33,72	34,81	33,35	37,27	34,32
SAR	0	2,219	1,030	0,028	0,352	0,159	0,979	1,096	1,093	1,045	0,913
$\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$	0,095	5,536	1,395	0,055	0,713	1,252	1,333	1,325	1,406	1,551	0,586
$\text{Na}^+/\text{Сума катіонів}$	0	33,09	18,224	0,395	5,043	3,231	19,11	19,88	19,28	17,82	17,68
HCO_3^- , мг-евв/дм ³	2,623	8,065	4,622	0,091	1,161	4,37	1	0	9	0	4
CO_3^{2-} , мг-евв/дм ³	0	0,6	0,019	0,006	0,0765	0	4,115	4,337	4,707	4,871	3,443
Cl^- , мг-евв/дм ³	0,113	1,834	0,880	0,021	0,265	0,23	0	0,019	0	0,049	0,018
							0,607	0,860	0,910	0,923	0,841

За Державним стандартом України по-ливна вода річки Роставиці за умістом хлору ($0,11-1,83$ мг-екв/дм³) і загрозою токсичної дії на рослини – вода 1 класу придатна для зрошення без обмежень; за умістом гідрокарбонатів ($2,62-8,06$ мг-екв/дм³), карбонатів

($0-0,6$ мг-екв/дм³) і загрозою її токсичної дії на рослини відноситься до 2 класу – обмежено придатна; за відношенням $\text{HCO}_3^- \text{Ca}^{2+}$ ($0,095-5,536$ мг-екв/дм³) і токсичною дією на рослини – вода 2 класу обмежено придатна для зрошення [24, 25].

Висновки

Найбільші місячні витрати води в річці Роставиця характерні для квітня, найменші – для листопаду.

За хімічним складом вода р. Роставиця характеризується середніми величинами мінералізації (прісна, α -полігалинна, 2 к. я., близько 480 мг/дм³), гідрокарбонатна, кальцієва, середньо жорстка, слабо лужна. Найвищі концентрації солей відмічено у 2007, 2016 та 2018 роках.

Зареєстровано численні випадки зниження умісту кисню у воді нижче 4 мгО₂/дм³ у 1999, 2007, 2020 роках, що вели до катастрофічних екологічних наслідків, у тому числі й замору риби у ставках і водосховищах.

За прозорістю вода Роставиці – брудна – дуже брудна.

Забруднення води Роставиці нітритним азотом оцінюється як стійке, помірно - сильно забруднене, нітритним азотом – стійке, помірно - сильно забруднене, за нітратами – вода брудна.

За витратами кисню на окислення у воді річки легко окисних органічних речовин за перманганатним окиснюванням – вода досить чиста, за біхроматним більш повним окисненням важкорозчинних орга-

нічних речовин, крім деяких білкових – вода помірно забруднена, за біологічним споживанням кисню протягом п'яти діб (БСК₅) для окислення органічних речовин, які містяться у воді, в аеробних умовах – вода також помірно забруднена за індексом забруднення води – вода Роставиці помірно забруднена.

Вода річки забруднена важкими металами, фенолами, нафтопродуктами, СПАР, залишками пестицидів.

Якщо за хімічним складом і мінералізацією вода річки Роставиці придатна для водопостачання, то наявність у її складі токсичних елементів і речовин вище граничних ДСанПіНу – заліза, марганцю, нікелю, свинцю, кадмію, фенолів, нафтопродуктів – вимагають від організацій, що надають послуги питного водопостачання – попередньої водопідготовки та очищення.

За показниками іригаційної оцінки вода р. Роставиця відноситься до придатної для зрошення, яка не потребує поліпшення хімічного складу, не викликає засолення й осолонцювання. За загрозою токсичної дії на рослини – вода відноситься до 2 класу обмежено придатна для зрошення.

Конфлікт інтересів

Автор заявляє, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автор повністю дотримувався етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

- Халтурін М.Б., Шевченко М.Г., Сондак В.В., Климковецький А.А. Дослідження гідрохімічного стану та якості води Щербаківського водосховища (р. Рось) та деяких водосховищ на р. Роставиця. 2023. *Екологічні науки*. № 1(46). С. 43-48. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.1-46.7>
- Нестерова О. В., Шарков В. В., Журавльова О. А., Нестеров Я. С. Проблеми басейнів малих річок. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. №5. С. 257-258. DOI: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.221019.68.524>
- Гололобова О. О., Дорогань В. В., Екологічна оцінка якості поверхневих вод малих та середніх річок Полтавської області. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. Вип. 31. 2019. С. 84-95. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-31-08>.

4. Нагаєва С.П., Романчук М.С., Кучеренко Л.Ю. Вплив антропогенного навантаження на якість вод малих річок Одеської області. *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 116. Частина 2. С. 172-179. DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.2.26>
5. Тучковенко Ю.С., Сапко О.Ю., Тучковенко О.А. Характеристика станцій біологічного очищення стічних вод міста Одеса як джерел біогенного забруднення морського середовища в сучасний період. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. № 25. С. 127–135 <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.12>
6. Лозовіцький П. С. Оцінювання якості води р. Сарата. *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*. 2023. Т. 27. №2(41). С. 28–44. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2022.2\(41\).268698](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2022.2(41).268698)
7. Лобода Н. С., Куза А. М. Аналіз екологічного стану річки Сарата Одеської області. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2024. №33. С. 18-37. DOI: <https://doi.org/10.31481/uhmj.33.2024.02>
8. Луньова О.В., Герасимчук О.Л., Кагукіна А.М. Аналіз стану водних ресурсів Житомирської області та їх вплив на організм людини. *Екологічні науки*. 2022. № 6(45). С. 31-34. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.5>
9. Войціцький В. М., Хижняк С. В., Данчук В. В., Мідик С. В., Гришук І. А., Ушкалов В. О. Екологічні ризики: природа і критерії. *Екологічні науки*. 2020. № 4(31) С. 131-135. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.4-31.21>.
10. Сніжко С. І. Оцінка та прогнозування якості природних вод: Підручник. К.: Ніка-Центр, 2001. 264 с.
11. Сніжко С.І., Сіренський С.П. Моніторинг якості води річок Житомирської області. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2000. № 1. С. 78–79.
12. Мянєвська М.Б., Давидова І.В. Екологічний стан основних річок Житомирської області. *Таврійський науковий вісник*. 2011. № 76. С. 323-334
13. Лозовіцький П.С., Серьогіна О. Аналіз витрат води різної забезпеченості річки Рось. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2005. Т.7. С. 148-162.
14. Лозовіцький П.С., Молочко А.М. Просторово-часовий аналіз хімічного складу води річки Рось. *Картографія та вища школа*. 2006. Вип. 11. С.171-183.
15. Гідрохімічний бюлетень. Матеріали спостережень за забрудненням поверхневих вод на території Української РСР. Щоквартальні випуски. 1967-1983 р.р. Київська гідрометеорологічна обсерваторія.
16. Щорічні дані щодо якості поверхневих вод суші. 2002 р. Україна (та інші за 2003–2015 роки). Вип. 2. Басейн Дніпра. Київ.. 2003. 360 с.
17. Регіональний звіт про стан довкілля в Житомирській області у 2019 році. Житомир. 2020. 178 с. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/regionalni-dopovid-pro-stand-navkolyshnogo-seredovyssha-v-ukrayini/>
18. Регіональний звіт про стан довкілля в Київській області у 2020 році. Київ, 2021. 212 с. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/regionalni-dopovid-pro-stand-navkolyshnogo-seredovyssha-v-ukrayini/>
19. Регіональний звіт про стан довкілля в Київській області у 2021 році. Київ, 2022. 200 с. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/regionalni-dopovid-pro-stand-navkolyshnogo-seredovyssha-v-ukrayini/>
20. Географічна енциклопедія України : в 3-х томах / редкол.: О. М. Маринич (відпов. ред.) та ін. Київ: "Українська Радянська Енциклопедія" ім. М. П. Бажана, 1990. 480 с
21. Найстаріший водозабір у басейні р.Рось знаходиться на р. Роставиця. Регіональний офіс водних ресурсів річки Рось. 2020. URL: <https://rovrosi.gov.ua/najstarishij-vodozabir-u-basejni-r-ros-znahoditsja-na-r-rostavicja.html>
22. Паспорт рибогосподарської технологічної водойми: Нагульний ставок «Строків» площею водного дзеркала 70,76 га в руслі річки Роставиця за межами села Строків Попільнянського району Житомирської області. Київ, ТОВ «РИБПРОСЕРВІС» 2021. 9 с.
23. Гидрологические и водно-балансовые расчёты / Под ред. Н.Г. Галущенко. К.: Выща школа. Головное изд-во, 1987. 248 с.
24. Лозовіцький П.С. Меліорація ґрунтів та оптимізація ґрунтових процесів. К. 2014. 528 с.
25. Лозовіцький П.С. Річка Дніпро (Кременчуцьке водосховище та його річки). *Біосферні компоненти екосистем. Серія «Екологія й гідрохімія водних джерел України»*. К. 2022. Вип. 4. Книга 2. 468 с.
26. Романенко В.Д., Жукинський В.М., Оксіюк О.П., Яцик А.В., Чернявська А.П. Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України. К., 2001. 48 с.
27. Державні санітарні норми та правила. "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10). Київ. 2010. 42 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>

Стаття надійшла до редакції 20.04.2025

Стаття рекомендована до друку 24.05.2025

P. S. LOZOVITSKY, PhD (Technic),

Associate Professor of the Department of Environmental Safety, Senior Researcher, Kyiv

e-mail: Lozov1956Pavlo@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-0439-878X>

Taras Shevchenko National University of Kyiv

60, Volodymyrska St., Kyiv, 01033, Ukraine

COSTS AND WATER ECOLOGICAL STATE OF THE GREATEST INFLOW OF ROSI RIVER – RIVER ROSTAVITSYA

Purpose. To establish the flow and ecological state of the water of the Rostavitsya River, to assess the suitability of water for water supply and irrigation according to irrigation indicators.

Methods. System analysis, methods of mathematical statistics.

Results. An analysis of the long-term (1940-2019 with interruptions) results of the study of the morphological parameters of the riverbed, daily, monthly, average, maximum and minimum water flows per year, the dynamics of the chemical composition, mineralization of the water of the Rostavitsya River and the state of pollution by biogenic and specific substances of toxic action, heavy metals, petroleum products, phenols, SPAR in comparison for different periods of time: 1940-1947, 1972-1980, 2003-2010, 2011-2020, 2021-2022 is presented. It was determined that due to significant regulation of the flow, the spring flood is characterized by a slow increase in levels, the largest monthly water flows are characteristic of April. By the chemical composition of the water of the river Rostavitsa in 2000-2022 is characterized by average mineralization values, hydrocarbonate, calcium, medium hard, weakly alkaline. The highest salt concentrations were observed in 2007, 2016 and 2018. Water pollution of the Rostavitsa River with nitrite nitrogen is assessed as stable, moderately-highly polluted, with nitrite nitrogen - stable, moderately-highly polluted, with nitrates - the water is dirty. According to the water pollution index - the water is moderately polluted.

Conclusions. The largest monthly water flows of the Rostavitsa River are characteristic of April, by chemical composition and mineralization the water is suitable for water supply, but the presence of toxic elements and substances such as iron, manganese, nickel, lead, cadmium, phenols, petroleum products in its composition requires water treatment and purification.

KEYWORDS: channel parameters, water flow, mineralization, chemical composition, nutrients, heavy metals, pollution

References

1. Khalturin, M.B., Shevchenko, M.G., Sondak, V.V., & Klymkovetsky A.A. (2023). Research on the hydrochemical state and water quality of the Shcherbakiv reservoir (Ros river) and some reservoirs on the Rostavitsya river. *Ecological Sciences*, (1(46)), 43-48. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.1-46.7>
2. Nesterova, O. V., Sharkov, V. V., Zhuravlyova, O. A., & Nesterov, Ya. S. (2019). Problems of small river basins. *Bulletin of the Dnieper State Academy of Civil Engineering and Architecture*, (5), 257-258. <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.221019.68.524>
3. Gololobova, O. O., & Dorogan, V. V., (2019). Ecological assessment of the quality of surface waters of small and medium-sized rivers of Poltava region. *Man and environment. Issues of neoecology*, (31), 84-95. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-31-08>
4. Nagaeva, S. P., Romanchuk, M. Ye., & Kucherenko, L. Yu. (2020). The impact of anthropogenic load on the water quality of small rivers of Odessa region. *Tavria Scientific Bulletin*, (116), 172-179. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.2.26>
5. Tuchkovenko, Y.S., Sapko, O.Yu., & Tuchkovenko, O.A. (2020). Characteristics of biological wastewater treatment plants of the city of Odesa as sources of biogenic pollution of the marine environment in the modern period. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, (25), 127-135. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.12>
6. Lozovitsky, P. S. (2023). Assessment of water quality of the Sarata River. *Bulletin of the Odessa National University. Geographical and Geological Sciences*, 27(2(41)), 28-44. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2022.2\(41\).268698](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2022.2(41).268698)
7. Loboda, N. S., & Kuza, A. M. (2024). Analysis of the ecological state of the Sarata River in Odessa region. *Ukrainian hydrometeorological journal*, (33), 18-37. <https://doi.org/10.31481/uhmj.33.2024.02>
8. Lunyova, O. V., Gerasymchuk, O. L., & Kagukina, A. M. (2022). Analysis of the state of water resources in Zhytomyr region and their impact on the human body. *Ecological Sciences*, (45), 31-34. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.5>
9. Voytsitsky, V. M., Khyzhnyak, S. V., Danchuk, V. V., Midyk, S. V., Hryshchuk, I. A., & Ushkalov, V. O. (2020). Ecological risks: nature and criteria. *Ecological sciences*, (31), 131-135. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.4-31.21>
10. Snizhko, S. I. (2001). Assessment and forecasting of natural water quality: Textbook. K.: Nika-Center. .

11. Snizhko, S. I., & Sirenkyi, S. P. (2000). Monitoring the water quality of rivers in the Zhytomyr region. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, (1), 78–79.
12. Myanovska, M.B., & Davydova, I.V. (2011). Ecological state of the main rivers of the Zhytomyr region. *Tavria Scientific Bulletin*, (76), 323-334.
13. Lozovitsky, P.S., & Seregina, O. (2005). Analysis of water consumption of different supplies of the Ros River. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 7, 148-162.
14. Lozovitsky, P.S., & Molochko, A.M. (2006). Spatial-temporal analysis of the chemical composition of the water of the Ros River. *Cartography and higher school*, (11), 171-183.
15. Hydrochemical Bulletin. Materials of observations of pollution of surface waters in the territory of the Ukrainian SSR. Quarterly issues. (1967-1983). Kiev Hydrometeorological Observatory
16. Annual data on the quality of surface waters of land. (2002). Ukraine (and others for 2003-2015). (2). The Dnieper Basin. K.
17. Regional report on the state of the environment in Zhytomyr region in 2019. (2020). Zhytomyr. Retrieved from <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyi-monitoryng/regionalni-dopovidi-pro-standart-navkolysnogo-seredovyssha-v-ukrayini/>
18. Regional report on the state of the environment in Kyiv region in 2020. (2021). Kyiv. Retrieved from <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyi-monitoryng/regionalni-dopovidi-pro-standart-navkolysnogo-seredovyssha-v-ukrayini/>
19. Regional report on the state of the environment in Kyiv region in 2021. (2022). Kyiv. Retrieved from <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyi-monitoryng/regionalni-dopovidi-pro-standart-navkolysnogo-seredovyssha-v-ukrayini/>
20. Marynych O. M. (Ed.). (1990). Geographical Encyclopedia of Ukraine: in 3 volumes Kyiv: "Ukrainian Soviet Encyclopedia" named after M. P. Bazhan.
21. The oldest watershed in the Ros River basin is located on the Rostavitsa River. (2020). *Regional Office of Water Resources of the Ros River*. Retrieved from <https://rovrosi.gov.ua/najstarishij-vodozabir-u-basejni-ros-znahoditsja-na-r-rostavicja.html>
22. Passport of a fishery technological reservoir: Feeding pond "Strokiv" with a water surface area of 70.76 hectares in the bed of the Rostavytsia River outside the village of Strokiv, Popilnyansky district, Zhytomyr region. (2021). Kyiv, LLC "RYBPROSERVIS".
23. Galushchenko, N.G. (Ed.). (1987). Hydrological and water balance calculations. K.: Higher school. Head publishing house.
24. Lozovitskyi, P.S. (2014). Soil reclamation and optimization of soil processes. K.
25. Lozovitskyi, P.S. (2022). Dnipro River (Kremenchuk Reservoir and its rivers). *Biosphere components of ecosystems. Series "Ecology and hydrochemistry of water sources of Ukraine"*, (4), Book 2.
26. Romanenko, V.D., Zhukynskyi, V.M., Oksiyuk, O.P. Yatsyk, A.V., & Chernyavska, A.P. (2001). Methodology for establishing and using environmental quality standards for surface waters of land and estuaries of Ukraine. K.
27. Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption" (DSanPiN 2.2.4-171-10). (2010). Kyiv. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>

The article was received by the editors 20.04.2025

The article is recommended for printing 24.05.2025

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-03>

УДК(UDC): 338.48-6:502/504

Н. В. МАКСИМЕНКО¹, д-р географ. наук, проф.,
завідувачка кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи
e-mail: maksymenko@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7921-9990>

Є. С. КОРОТЕЦЬКА¹,
студентка,
e-mail: 1korotetska2021.9512119@student.karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3925-7191>

¹Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
майдан Свободи, 4, м. Харків, Україна 61022

ІННОВАЦІЇ В ОРГАНІЗАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОГО (ЗЕЛЕНОГО) ТУРИЗМУ: РЕГІОНАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ.

Мета. Пошук нових, системних підходів до розвитку екологічного туризму в Україні, що базуються на стратегіях сталості, інноваційності та інтеграції з місцевим соціально-економічним контекстом.

Методика. Системний аналіз літературних, фондових та інтернет-ресурсів щодо організації екологічного туризму. Вимірювання відстаней здійснювалось за допомогою картографічного сервісу Google Maps

Результати. Дослідженням виявлені характерні регіональні відмінності в підходах до організації екологічного туризму в трьох областях України, а саме: у Закарпатті – це поєднання оздоровлення і культурної спадщини, у Львівщині – активний відпочинок на природі з етноелементами, на Харківщині – екопрактики з елементами сільського побуту. Запропоновано нову інформаційну форму для забезпечення зеленого туризму – матрицю туристичної доступності. Матриця візуалізує транспортну доступність: турист легко орієнтується, наскільки швидко можна дістатися від конкретної садиби до обраного об'єкта; сприяє ефективному плануванню маршрутів – можна будувати як найкоротші шляхи, так і тематичні маршрути за об'єктами одного типу (наприклад, замки, водоспади, ферми тощо). Матриця підтримує обґрунтований вибір садиби: турист обирає ту, яка є найближчою до бажаних локацій. Для трьох модельних областей України (Закарпатська, Львівська і Харківська) розроблено початкові варіанти матриць та комплекти радіальних діаграм.

Висновки. Матриця, як запропонований інноваційний інструмент для зеленого (екологічного) туризму має широкий спектр функціональних можливостей. Реалізація запропонованих ініціатив забезпечить ефективне використання природних і культурних ресурсів, створить нові робочі місця та підвищить конкурентоспроможність українських регіонів на туристичному ринку, як внутрішньому, так і міжнародному.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *зелений туризм, екологічний туризм, рекреація, зелені садиби, матриця доступності, радіальна діаграма, природні ландшафти, регіони*

Як цитувати: Максименко Н. В., Коротецька Є. С. Інновації в організації екологічного (зеленого) туризму: регіональні особливості. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2025. Вип. 32. С. 39-60. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-03>

In cites: Maksymenko, N. V., & Korotetska, Ye. S. (2025). Innovations in the organization of ecological (green) tourism: regional peculiarities. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (32), 39-60. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-03> (in Ukrainian)

Вступ

Проблематика організації екологічного (зеленого) туризму широко представлена в

публікаціях щодо традиційно туристичних регіонів світу. Аналізу походження та масшта-

бів сталого зеленого туризму присвячено сучасні дослідження [1], в яких розглядаються не лише ініціативи і механізми управління сталим розвитком у туристичній індустрії, державному секторі та провідних агенціях, а також і шляхи використання концепції зеленого туризму як методу підтримки сталого розвитку туризму певних регіонів [2]

Вивчається також вплив розвитку зеленого туризму на покращення інфраструктури та соціально-економічний розвиток сільських громад, як показано на прикладі країн Південно-Східної Азії, а саме Індонезії [3, 4] і Таїланду [5]. В останній досліджено використання моделі ARDL в аналізі ролі зелених інновацій туризму для зниження негативного впливу на довкілля.

Значна частина досліджень розглядає зелений туризм як підприємницьку діяльність, що з одного боку має подолати певні бар'єри (наприклад, в Індонезії [4]), а з іншого – намагатися розвивати зелений маркетинг та аналізувати його вплив на сприйняття туристів (наприклад, румунський досвід [6]).

Окремо в ряді публікацій розглядається регіональний вимір зеленого туризму. На прикладі Грузії розкрито проблематику становлення зеленого туризму та його високий потенціал розвитку [7]. У роботі [8] наведено модель розвитку зеленого туризму та аналіз її просторово-часової еволюції на прикладі Пекінської екологічної природоохоронної зони ВЕСА.

Ряд дослідників розглядає окремі питання нерозривного зв'язку між туризмом і капіталізмом, наприклад, його наслідки для управління сталим туризмом та внесок у екоцид проаналізовано у [9], а вплив цифровізації та зміни уподобань туристів на умови проживання та економічний добробут у контексті сталого розвитку – у [10].

Огляд економіки зеленого туризму на основі нарративного аналізу існуючих досліджень і визначення подальших наукових напрямів наведено у [11]. Питання оптимізації середовища, культури та комерціалізації туризму на територіях етнічних меншин розглянуто як один із шляхів сприяння сталому розвитку [12].

У дослідженні [13] вивчено вплив зеленого врядування та рівня викидів CO₂ на розвиток екотуризму в 40 країнах, що розвиваються,

у період 2010–2021 років. Увагу також приділено розробці рамкової моделі сталого екотуризму на основі зв'язку між розвитком туризму та екологічною придатністю територій [14].

Економічним аспектом аналізу розвитку зеленого туризму слід також вважати дослідження його впливу на економічний, соціальний та екологічний розвиток регіонів, зокрема шляхом створення нових робочих місць, залучення інвестицій і збереження природних ресурсів [15], особливо коли мова йде про туризм на природоохоронних територіях.

У контексті теорії і практики екологічного (зеленого) туризму в Україні є приклади досліджень, що висвітлюють його потенціал як одного з напрямів відновлення країни у післявоєнний період [16]. Зокрема, увага приділяється ролі сільського зеленого туризму у підвищенні потенціалу громад, збереженні природних ресурсів і культурної спадщини [17], а також формуванні регіональних стратегій його розвитку за участі держави та громадських організацій [18]. Дослідники акцентують увагу на принципах сталого розвитку [19], важливості маркетингових інструментів – зокрема соціальних мереж, блогерів і туристичних агенцій – для популяризації туризму та залучення інвестицій [20]. Вивчено також можливості адаптації міжнародного досвіду до українських реалій [21], виділено національні моделі зеленого туризму та визначено сприятливі передумови для його розвитку в регіонах [22]. Окремі дослідження акцентують увагу на аналізі туристичних садиб [23], локальних ініціатив з кластеризації етнотуризму [24], а також на необхідності стратегічного планування навіть в умовах повномасштабного вторгнення [25].

Екологічний туризм розглядається як один із найбільш прийнятних форматів рекреації в умовах обмеженого пересування, таких як пандемія COVID-19 або війна [26].

Науковці також підкреслюють потребу у вдосконаленні правової бази для ефективного функціонування малого бізнесу в цій сфері [27] та важливість врахування світового досвіду – від екокурортів до глумпінгів – при формуванні української моделі сталого туризму [28].

У дослідженнях на регіональному рівні запропоновано впровадження кластерно-проект-

них підходів як механізму активізації туристичного потенціалу [29], а також проаналізовано зарубіжний досвід (Італії, Франції, Туреччини), що може бути корисним для розробки національної стратегії розвитку зеленого туризму [30].

Попри широту охоплення тематики, більшість досліджень зосереджуються на окремих аспектах розвитку зеленого туризму – регіональних ініціативах, правових основах, маркетингу чи міжнародному досвіді. Однак ком-

плексна, міждисциплінарна модель, що враховує сучасні виклики – такі як післявоєнна відбудова, глобальні екологічні тренди та цифровізація туризму – все ще потребує подальшого формування. Це засвідчує актуальність **мети** нашого дослідження - пошуку нових, системних підходів до розвитку екологічного туризму в Україні, що базуватимуться на стратегіях сталості, інноваційності та інтеграції з місцевим соціально-економічним контекстом.

Методи дослідження

Порівняння здійснено на основі ретроспективного аналізу літературних, фондових та інтернет-ресурсів щодо організації екологічного

туризму в трьох областях України. Вимірювання відстаней здійснювалось за допомогою картографічного сервісу Google Maps (рис.1).

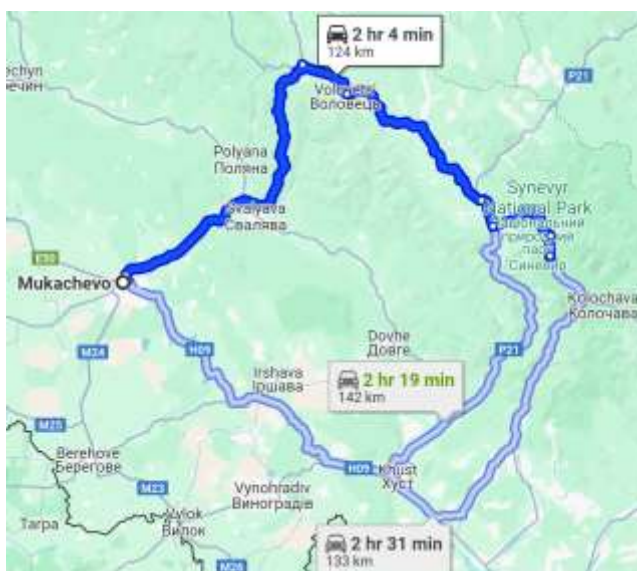


Рис.1 – Приклад розрахунку маршруту до туристичного об’єкту (м. Мукачево – НПП Синевір)

Fig. 1 – An example of calculating a route to a tourist destination (Mukachevo - Synevyr National Park)

Результати і обговорення

Насьогодні в Україні зелений (екологічний) туризм практикується не досить широко. Але має досить високий потенціал для розвитку. У результаті проведеного аналізу зелених садиб у Закарпатській, Львівській та Харківській областях можна виділити характерні регіональні відмінності в підходах до організації екологічного туризму.

Закарпатська область демонструє розвинену туристичну інфраструктуру, яка поєднує природні, історичні та рекреаційні ресурси. Більшість садиб пропонують якісне проживання в екологічно чистих місцевостях, доступ до культурних об’єктів і термальних джерел, а також широкий спектр додаткових послуг – від прокату спорядження до організації

екскурсій. Специфікою регіону є багатонаціональна кухня, вплив угорської, словацької та української культур, а також акцент на термальному відпочинку та виноробстві.

У Львівській області зелений туризм тяжіє до активного дозвілля – походи в гори, збирання грибів, велотури, апітерапія, чан, сауни та інші рекреаційні практики. Проживання організовано як у традиційних бойківських чи гуцульських садибах, так і в сучасних котеджах. Туристичні об'єкти зосереджені навколо гірськолижних курортів, мінеральних джерел та природних парків, що створює умови для всесезонного прийому гостей. Особливістю є акцент на збереженні етнічної ідентичності та використанні природного ландшафту в рекреаційних цілях.

Харківська область, хоч і менш асоціюється з зеленим туризмом у суспільній уяві, демонструє стрімкий розвиток екосадиб із високим рівнем функціонального комфорту. Тут акцент робиться на спокійний відпочинок біля водойм, лекції, майстер-класи, дегустацію меду, вина та місцевих продуктів. Туристам пропонуються унікальні формати відпочинку – апібудиночки, кінні екскурсії, екопікніки та активності, пов'язані з традиціями Слобожанщини. Пропозиції в регіоні відрізняються меншим скупченням садиб, проте більшим простором навколо, що дозволяє створити більш приватну атмосферу відпочинку.

Таким чином, у кожному з регіонів зелений туризм набуває унікальних форм: у Закарпатті – це поєднання оздоровлення і культурної спадщини, у Львівщині – активний відпочинок на природі з етноелементами, на Харківщині – екопрактики з елементами сільського побуту. Усі три приклади підтверджують важливість врахування регіональних особливостей при впровадженні інновацій в організацію екологічного туризму, що й обумовлює актуальність подальшого дослідження

Аналіз функціональних і просторових характеристик зелених садиб у трьох регіонах України – Закарпатській, Львівській та Харківській областях – підтверджує наявність

значного туристичного потенціалу, що базується на поєднанні природних ресурсів, культурної спадщини, побутового комфорту та автентичного харчування. Однак, незважаючи на розвинену мережу садиб, існує суттєва проблема – інформаційний вакуум, в якому перебувають потенційні відпочиваючі.

Сьогодні туристи, що зацікавлені у відпочинку в зелених садибах, часто змушені самостійно шукати інформацію в Інтернеті, покладаючись на випадкові сайти, неструктуровані відгуки або малодостовірні джерела. Такий підхід ускладнює прийняття рішень, особливо для тих, хто прагне поєднати різні види активностей або має конкретні вимоги щодо комфорту, транспорту чи послуг.

У відповідь на цю проблему автори пропонують впровадження інноваційного інструменту – матриці туристичної доступності, яка дозволяє інтегровано оцінити пропозиції зеленого туризму в межах конкретного регіону або країни загалом.

Матриця туристичної доступності є зручною формою візуалізації відстаней між ключовими населеними пунктами та туристичними локаціями регіону. Ключовими параметрами матриці туристичної доступності є: стовпці, що представляють населені пункти, в яких розташовані або поблизу яких знаходяться зелені садиби, та рядки, які відображають туристичні об'єкти, що становлять інтерес для гостей. Значення в клітинках – це фактична відстань у кілометрах між відповідним населеним пунктом і туристичним об'єктом, розрахована за допомогою картографічних сервісів, таких як Google Maps.

Матриця має широкий спектр функціональних можливостей. По-перше, вона візуалізує транспортну доступність: турист легко орієнтується, наскільки швидко можна дістатися від конкретної садиби до обраного об'єкта. По-друге, вона сприяє ефективному плануванню маршрутів – можна будувати як найкоротші шляхи, так і тематичні маршрути за об'єктами одного типу (наприклад, замки, водоспади, ферми тощо). По-третє, матриця підтримує обґрунтований вибір садиби: турист

обирає ту, яка є найближчою до бажаних локацій. Для візуального сприйняття доступності локацій матриці є кольорове маркування: зелений колір позначає маршрути протяжністю до 70 км, які придатні для коротких одноденних подорожей, жовтий колір вказує на відстань від 70 до 150 км, що робить одноденну подорож складнішою, оскільки з урахуванням зворотного шляху маршрут значно подовжується. У таких випадках рекомендується ранній виїзд та пізніше повернення, сірий колір використовується для позначення відстаней понад 150 км, що доцільніше розглядати як дводенні подорожі.

Крім того, її легко інтегрувати з цифровими сервісами – наприклад, трансформувати у фільтр у мобільному додатку чи на туристичному порталі.

Окрему цінність становить можливість нескінченного доповнення такої матриці. Вона дозволяє безперешкодно додавати нові туристичні об'єкти, маршрути та зелені садиби відповідно до розширення інфраструктури. Згодом у неї можна інтегрувати не лише відстані, а й якісні параметри – час у дорозі, чи наявність громадського транспорту або наприклад у випадку діджитал-матриці зробити зворотний зв'язок від туристів у вигляді рейтингів, рекомендацій та коментарів, що дозволить формувати актуальні пропозиції. На базі таких даних можна створювати тематичні маршрути – гастрономічні тури, історичні подорожі, природні мандрівки та інші туристичні продукти, орієнтовані на різні аудиторії.

Для трьох модельних областей України (Закарпатська, Львівська і Харківська) розроблено початкові варіанти матриць (табл 1 – 3). Зупинимось на кожному регіоні окремо.

Закарпаття, завдяки своєму унікальному природному ландшафту, гірським лісам, річкам і культурним пам'яткам, має значний потенціал для розвитку екологічного туризму. Однак важливо дослідити доступність туристичних об'єктів, враховуючи їхню природоохоронну та екологічну значущість [31]. Аналіз рекреаційно-туристичних ресурсів і факторів розвитку туризму дозволив розробити відповідну матрицю (табл.1), що охоплює основні міста регіону та найбільш популярні туристичні об'єкти. Відібрано 11 населених пунктів і 15 визначних місць, а для оцінки відстаней між

ними використовували дані сервісу Google Maps.

Для покращення візуального сприйняття інформації дані, які містяться в таблиці 1, відображено у вигляді радіальних діаграм на рисунках 1-11. Для кожного населеного пункту, що умовно знаходиться в центрі кола по радіусу показана відстань у кілометрах до кожного туристичного об'єкту, номери яких відповідають нумерації в Матриці.

Згідно з аналізом радіальних діаграм, найбільш привабливими для туристів можуть стати міста Міжгір'я та Хуст. Це пояснюється їхнім вигідним розташуванням відносно основних туристичних атракцій: вони знаходяться в центрі області, мають зручні автомобільні розв'язки та концентрують найбільшу кількість популярних об'єктів. Найменш сприятливим для подорожей виявилось місто Ясіня, оскільки воно розташоване у південно-східній частині області, де туристичних атракцій значно менше.

Матриця доступності дозволяє оцінити рівень зручності туристичних локацій для подорожуючих з різних населених пунктів. Вона допомагає визначити оптимальні маршрути, розрахувати приблизний час у дорозі та витрати на переміщення між об'єктами, а також виділити найбільш привабливі точки для туристів. Аналізуючи цю матрицю, місцева влада та туристичні організації можуть розробляти ефективні стратегії залучення туристів, покращення інфраструктури та створення нових туристичних маршрутів. Такий підхід дозволяє раціонально розподілити туристичний потік у регіоні, сприяючи його сталому розвитку та забезпечуючи комфорт як для місцевого населення, так і для гостей області.

Оскільки туристичні атракції суттєво впливають на розвиток індустрії, їх аналіз і систематизація є важливими для подальшого планування. У зв'язку з цим дослідження передбачає класифікацію та опис основних туристичних об'єктів у кожній матриці, що дозволить визначити їхні унікальні особливості, значення для відвідувачів та вплив на економічний розвиток регіону. Умовно представлені атракції можна класифікувати за таким принципом: природні атракції, фортифікаційні споруди та замки, курорти та рекреаційні зони, культурні та етнографічні об'єкти.

Таблиця 1

Матриця доступності туристичних атракцій Закарпаття

Table 1

Accessibility matrix of tourist attractions in Transcarpathia

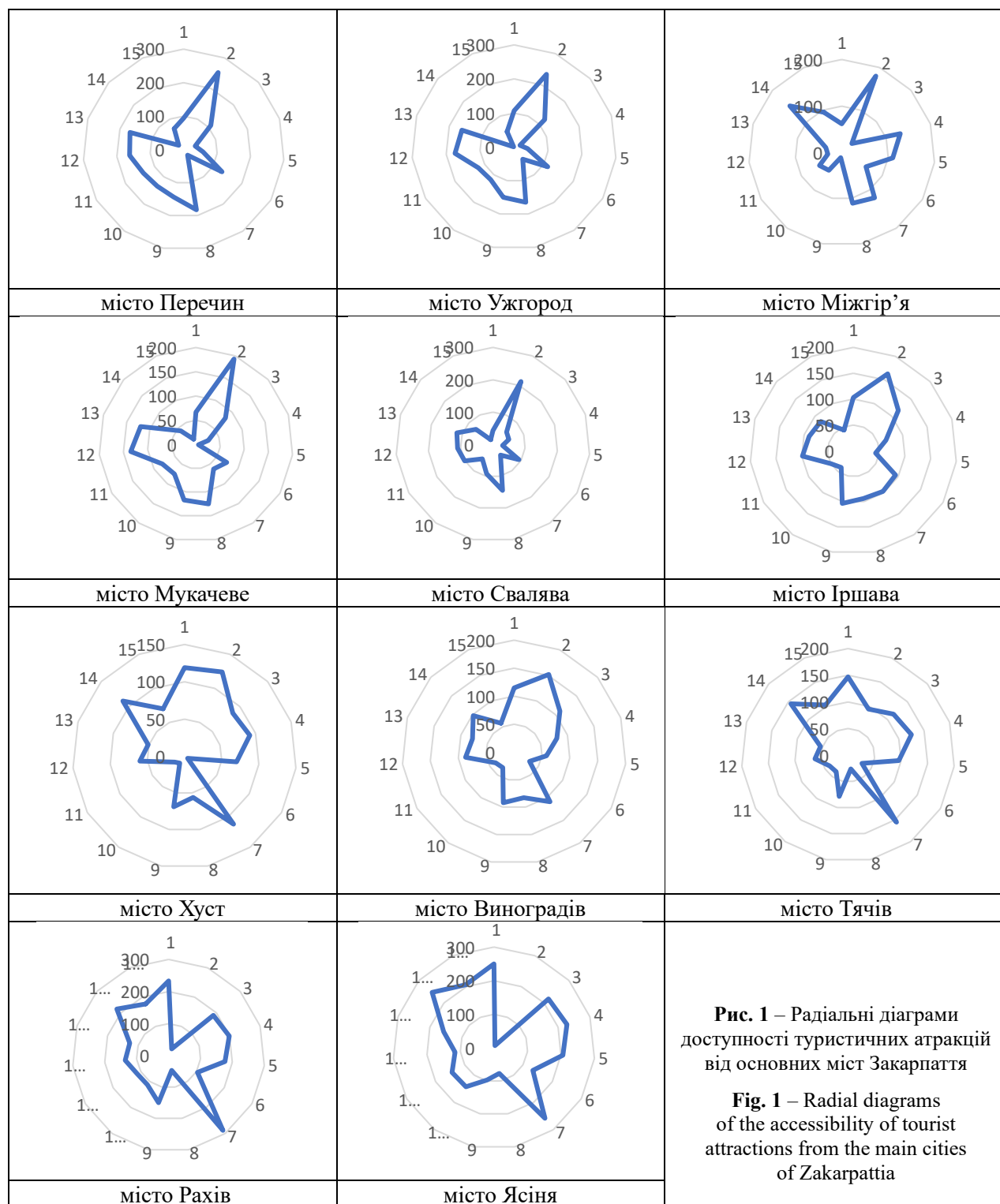
Туристичні локації	Перечин	Ужгород	Міжгір'я	Мукачево	Свалява	Іршава	Хуст	Виноградів	Тячів	Рахів	Ясіня
1. Верецький перевал	94	107	62	67	43	103	119	115	147	233	250
2. Водоспад Труфанець	252	234	180	193	213	163	124	152	95	23	8
3. Водоспад Шипіт	109	121	29	82	57	117	87	110	115	188	218
4. «Деренівська купіль»	36	18	132	27	52	66	92	80	125	199	228
5. Замок паланок	58	40	110	5	30	43	70	58	96	177	206
6. Заповідний масив "Долина нарцисів"	132	114	60	73	93	94	5	32	30	104	133
7. Курорт "Воеводино"	20	43	120	62	40	97	112	109	155	288	258
8. Курорт "Солотвино"	183	165	111	125	145	94	56	83	26	47	77
9. Національний природний парк «Синевир»	144	150	11	117	92	104	69	92	79	150	97
10. Оленяча ферма	134	117	47	75	55	40	11	34	38	112	142
11. Селинська сироварня	139	121	55	80	101	50	15	38	40	113	144
12. Село десяти музеїв Колочава	162	174	30	135	110	99	60	87	62	136	116
13. Теремле - Ріцьке водосховище	168	161	36	120	117	90	51	78	54	127	157
14. Ужгородський замок	20	2	150	42	70	85	111	98	144	217	247
15. Чинадіївський замок	69	50	95	12	16	44	70	57	103	176	206

1. Природні атракції:

- Верецький перевал – розташований на межі басейнів річок Стрий та Латориця на висоті 841 м. Відкриває дивовижні краєвиди на Боржавські полонини, що зачаровують у будь-яку пору року.
- Водоспад Труфанець – найвищий природний водоспад Закарпаття (35 м), складається з п'яти каскадів. Включений до складу Кар-

патського біосферного заповідника у 1997 році.

- Водоспад Шипіт – найповноводніший водоспад Карпат (14 м), один із семи природних чудес України. Відомий завдяки подіям у романі Любка Дереша «Трохи пітьми».
- Заповідник "Долина нарцисів" – частина Карпатського біосферного заповідника, містить понад 400 видів рослин, зокрема рідкіс-



ні червонокнижні види. Головна перлина - нарцис вузьколистий.

- Національний природний парк "Синевир" – заснований у 1989 році, охоплює 236 видів тварин, з яких 22 занесені до Червоної книги України. Має центр реабілітації бурих ведмедів і туристичну інфраструктуру.
- Терембле-Ріцьке водосховище – гідротехнічна споруда площею 80 га та глибиною 8 м, відзначається мальовничими краєвидами на тлі карпатських лісів.

2. Фортифікаційні споруди та замки:

- Замок Паланок – розташований у Мукачеві, має понад тисячолітню історію. Складається з трьох рівнів: верхнього (житлові приміщення та каплиця), середнього (адміністративний центр, казарми) та нижнього (оборонні bastiони).
- Ужгородський замок – заснований у IX столітті, спочатку був дерев'яною фортецею білих хорватів. Згодом зведено кам'яний замок, що протягом століть змінював власників та укріплювався.
- Чинадіївський замок – один із найстаріших замків Закарпаття (XV ст.), поєднує елементи готики та ренесансу. Відзначається масивними стінами, великими вікнами та просторими залами.

3. Курорти та рекреаційні зони:

- «Деренівська купіль» – сучасний оздоровчий комплекс (2016 р.), містить термальні й прісні басейни, «Срібні терми» та бювет із цілющою водою «Закарпатська». Пропонує бальнеологічні та косметологічні процедури.
- Курорт "Воеводино" – розташований за 50 км від Ужгорода, відомий мінеральними водами та можливостями активного відпочинку: піші та велосипедні маршрути, кінні прогулянки, сплави по річках.
- Курорт "Солотвино" – відомий соляними озерами, що утворилися через просідання поверхні у вироблених шахтах. Найбільше – озеро Кунігунда, відоме високою концентрацією солі, що нагадує Мертве море.

4. Культурні та етнографічні об'єкти:

- Село десяти музеїв Колочава – розташоване поблизу озера Синевир. Включає му-

зей-скансен «Старе село» – перший у Закарпатті музей архітектури та побуту.

- Селиська сироварня – виробляє три види сиру з екологічно чистого молока: «Хуст», «Нарцис Карпат» і «Селиський». Туристи можуть пройти дегустаційну екскурсію.
- Оленяча ферма - ферма площею 57 га, де мешкає понад 300 оленів. Туристи можуть годувати їх прямо з рук, що робить атракцію особливо цікавою для сімейного відпочинку.

Отже, Закарпаття – це неповторний регіон, який вирізняється багатством туристичних локацій. Захопливі гірські пейзажі, прозорі озера, мальовничі ліси та колоритні містечка створюють ідеальні умови для відпочинку й подорожей.

Розробка матриці доступності туристичних локацій Львівської області є важливим кроком у створенні комфортного та привабливого середовища для туристів, зацікавлених у природних та культурних цінностях регіону. Завдяки такій матриці стане можливим оцінити рівень доступності ключових туристичних об'єктів, а також визначити напрями покращення інфраструктури для стимулювання розвитку зеленого туризму.

Структура матриці (табл. 2) ґрунтується на аналізі вибраних міст і туристичних атракцій Львівщини. Для дослідження було обрано 12 населених пунктів та 15 визначних місць, а відстані між ними визначено за допомогою сервісу Google Maps. Візуалізація даних здійснена за допомогою кольорового кодування відповідно до принципів, застосованих у таблиці 1.

Дані, які містяться в таблиці 2, відображено у вигляді діаграм на рисунках 12-23. Від кожного населеного пункту, умовно розміщеного в центрі кола, подано відстані (в кілометрах) до туристичних об'єктів, позначених у матриці відповідними номерами

Згідно з аналізом радіальних діаграм, найбільш зручними містами для подорожей та дослідження туристичних об'єктів Львівської області є Львів і Пустомити. Це зумовлено їхнім географічним розташуванням у центральній частині області, де перетинається

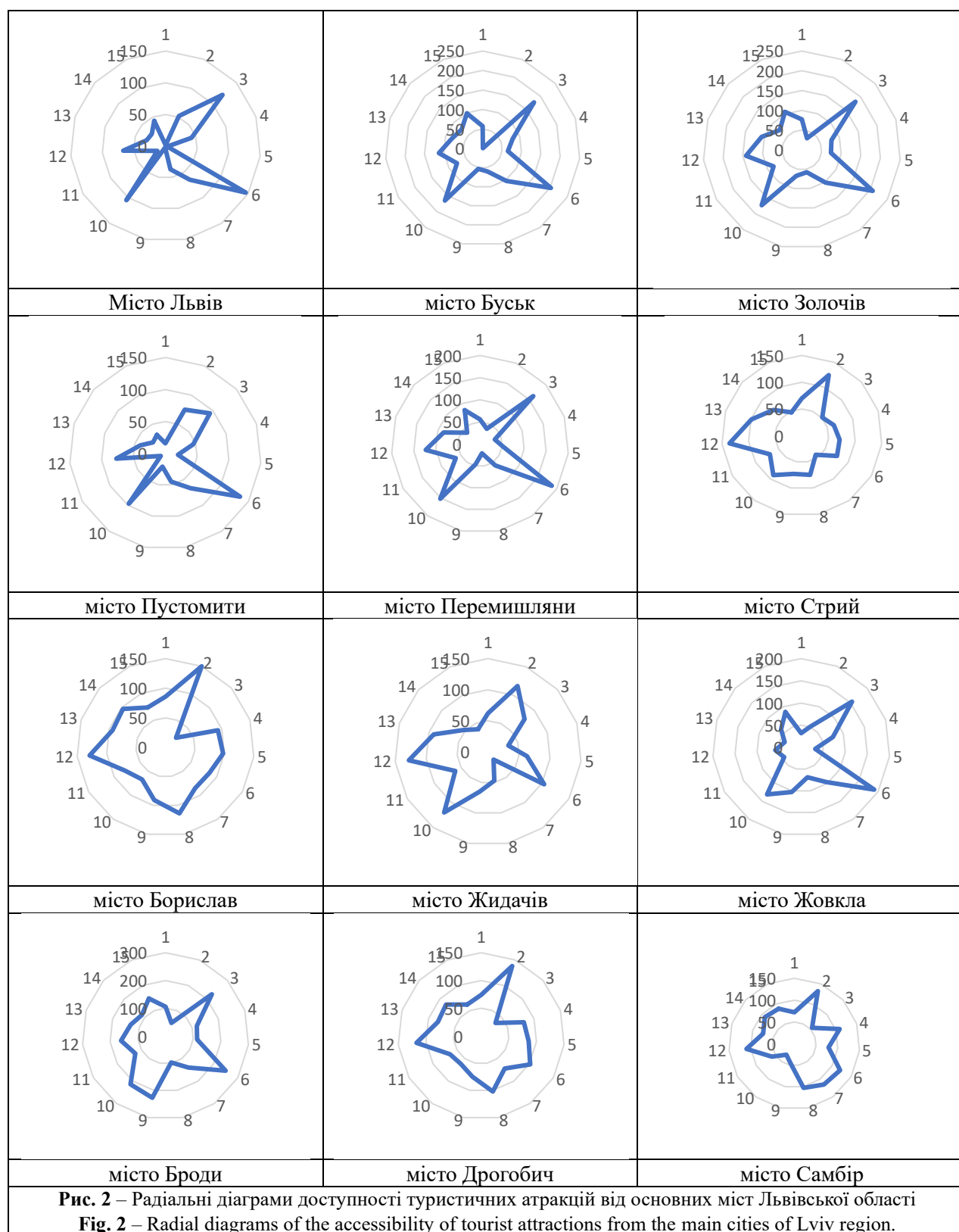
Таблиця 2

Матриця доступності туристичних атракцій Львівщини

Table 2

Accessibility matrix of tourist attractions in Lviv region

Туристичні локації	Львів	Буськ	Золочів	Пустомити	Перемишляни	Стрий	Борислав	Жидачів	Жовква	Броди	Дрогобич	Самбір
1. Ботанічний сад ЛДСУ	2	57	77	16	56	70	86	62	32	106	74	72
2. Буський парк	52	1	32	75	38	124	150	116	51	52	138	132
3. Водоспад Лазний	121	177	182	94	162	51	24	79	154	225	35	55
4. Гора Вапнярка	43	81	79	46	35	63	93	34	75	119	81	109
5. Дендропарк імені Бенедикта Дибовського	3	65	74	20	53	71	98	63	32	114	86	79
6. Заказник "Бердо"	146	202	207	135	187	76	86	104	190	250	102	121
7. Заказник "Діброва"	65	103	102	67	59	44	85	15	97	140	72	115
8. Лавандові поля	37	60	58	45	21	75	114	47	69	97	102	103
9. Лиса Гора і Гора Сипуха	2	53	67	21	46	73	91	65	103	227	75	44
10. Національний природний парк "Королівські Бескиди"	105	165	173	97	152	91	67	120	131	214	62	31
11. Оброшинський дендрологічний парк	15	76	83	8	63	69	79	61	44	125	65	59
12. Парк курорту Немирів	67	113	142	77	123	136	129	128	59	161	117	110
13. Природний заповідник "Розточчя"	31	83	107	41	86	99	94	92	39	132	82	75
14. Ранчо "Скарбова гора"	29	73	75	26	39	72	97	53	61	114	85	91
15. Регіональний ландшафтний парк "Стільке Горбогір'я"	44	99	105	32	84	48	74	40	87	148	62	88



найбільша кількість автомобільних доріг і сконцентровано найбільше атракцій. Натомість найменш сприятливими для такого дослідження виявилися Броди та Золочів, оскільки вони розташовані у східній частині області, де кількість туристичних атракцій значно менша.

Зелений туризм у Львівській області має значний потенціал для розвитку, за умови створення ефективної системи доступності туристичних об'єктів. Важливим чинником привабливості регіону для любителів екотуризму є оцінка доступності та зручності відвідування локацій. Покращення транспортної інфраструктури та забезпечення легкого доступу до природних і культурних пам'яток сприятиме зростанню туристичного потоку та сталому розвитку регіону. Для цього необхідно вдосконалювати систему доступності, враховуючи потреби екологічного туризму та збереження природних ресурсів області.

З метою детального аналізу туристичних об'єктів Львівської області було проведено дослідження, яке дозволило оцінити та класифікувати кожен об'єкт у рамках визначеної матриці [32]. Такий підхід дає змогу глибше дослідити особливості кожної локації та визначити її значення як для відвідувачів, так і для регіону загалом. Об'єкти класифіковано за категоріями: природні атракції, дендропарки та культурні ландшафти, туристичні та рекреаційні зони.

1. Природні атракції:

- Ботанічний сад Львівського державного лісотехнічного університету – один із найстаріших ботанічних садів України та Східної Європи, заснований у 1852 році. Наразі виконує функції навчальної, науково-дослідної та природоохоронної установи при Львівському національному університеті імені Івана Франка.
- Буський парк – пам'ятка садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення, що розташована у надзаплавній долині річок Полтва та Західний Буг. Об'єкт входить до складу природно-заповідного

фонду України та має особливий режим охорони.

- Водоспад Лазний – трьохкаскадний водоспад у масиві Сколівські Бескиди, розташований поблизу села Довге. Його висота коливається від 10,5 до 12 метрів залежно від різних картографічних джерел.
 - Гора Вапнярка – геоморфологічно унікальна територія, вкрита високопродуктивними мішаними лісами. Тут зростають рідкісні рослинні угруповання, зокрема види, занесені до Червоної книги України: любка дволиста, лілія лісова, зозулині сліози яйцевидні тощо.
 - Заказник "Бердо" – ландшафтний заказник загальнодержавного значення, що охоплює територію в межах хребта Бердо. Його флористичний склад представлений буковими пралісами та рідкісними ялиниками, характерними для Стрийсько-Сянської Верховини.
 - Лиса Гора і Гора Сипуха – ботанічна пам'ятка природи загальнодержавного значення, що входить до складу Національного природного парку «Північне Поділля». Тут зростають унікальні рослинні види, такі як місячниця гірська та неотінея обпалена.
 - Національний природний парк "Королівські Бескиди" – природоохоронна територія, що охоплює частину Верхньодністровських лісів. Його фауна включає копитних (олень благородний, козуля), хижаків (вовк, борсук, видра), а також червонокнижні види, такі як рись, журавель чорний та підорлик.
 - Природний заповідник "Розточчя" – природоохоронна територія, де перетинаються ареали євразійських видів дерев та чагарників. Заповідник відомий також своєю орнітологічною значимістю, оскільки є місцем зимівлі багатьох видів птахів.
2. Дендропарки та культурні ландшафти:
- Дендропарк імені Бенедикта Дибовського – дендрологічний парк місцевого значення у Львові, закладений у 1910 році. Колекція

містить понад 113 видів дерев і кущів, серед яких червонокнижні рослини, а також 130 видів тварин.

- Оброшинський дендрологічний парк – дендрологічний парк загальнодержавного значення, що налічує понад 60 видів дерев і чагарників, зокрема рідкісні види: ліріодендрон тюльпановий, платан західний, магнолія Кобус.
- Парк курорту Немирів – об'єкт садово-паркового мистецтва місцевого значення, що включає численні природні джерела мінеральної води та унікальний 1000-річний дуб.

3. Туристичні та рекреаційні зони:

- Лавандові поля – туристична атракція, розташована на висоті 342 м над рівнем моря. На території висаджено близько 28 тисяч кущів лаванди вузьколистої, що створює мальовничі ландшафти та сприяє розвитку гастрономічного туризму.
- Ранчо "Скарбова гора" – рекреаційна територія, що поєднує туристичну діяльність та конярство. Тут організовують кінні походи та ознайомчі екскурсії, що сприяють розвитку екотуризму.
- Регіональний ландшафтний парк "Стільке Горбогір'я" – природоохоронна територія, створена для збереження комплексу букових лісів та археологічної пам'ятки – городища VIII–XII століть.

Результати дослідження свідчать, що подальший розвиток зеленого туризму у Львівській області потребує покращення транспортної доступності природних та культурних об'єктів, а також інтеграції екологічних підходів до їх збереження. Формування ефективної матриці доступності туристичних об'єктів сприятиме залученню більшої кількості відвідувачів та сталому розвитку регіону.

Харківська область характеризується значним природним і туристичним потенціалом, що створює передумови для розвитку зеленого туризму після завершення бойових дій. Даний напрямок спрямований на поєднання відпочинку в природному середовищі з

екологічно відповідальними формами рекреації. Для ефективного планування та розширення туристичної інфраструктури необхідно здійснити комплексний аналіз доступності ключових туристичних об'єктів регіону.

Одним із важливих інструментів такого аналізу є матриця доступності, яка дозволяє оцінити транспортну досяжність туристичних атракцій і визначити пріоритетні напрями розвитку зеленої туристичної мережі в області. Представлена матриця (табл. 3) містить 15 туристичних об'єктів та 13 населених пунктів. Відстані між ними розраховані на основі даних системи Google Maps. Для зручності інтерпретації результатів використано кольорове кодування, аналогічне до представленого в таблицях 1 та 2.

Дані, які містяться в таблиці 3, відображено у вигляді діаграм на рисунках 24 – 36. Від кожного населеного пункту, умовно розміщеного в центрі кола, подано відстані (в кілометрах) до туристичних об'єктів, позначених у матриці відповідними номерами

Аналіз просторової доступності туристичних об'єктів Харківської області свідчить про значний потенціал регіону для розвитку зеленого туризму. На основі результатів дослідження встановлено, що найбільш сприятливими населеними пунктами для відвідування туристичних атракцій є м. Валки та м. Богодухів, тоді як найменш доступним є м. Ізюм. Така тенденція пояснюється географічним розташуванням: м. Валки та м. Богодухів знаходяться в центрально-західній частині області, яка характеризується розвинутою транспортною інфраструктурою та високою концентрацією туристичних об'єктів. Натомість м. Ізюм розташований у східній частині регіону, де щільність туристичних атракцій є нижчою, а транспортне сполучення менш розгалужене.

Отримані результати підтверджують доцільність використання матриці доступності як ефективного аналітичного інструменту для оцінки логістичних характеристик туристичних маршрутів. Стратегічний розвиток зеленого туризму може стати важливим чинником сталого розвитку Харківської області у після-

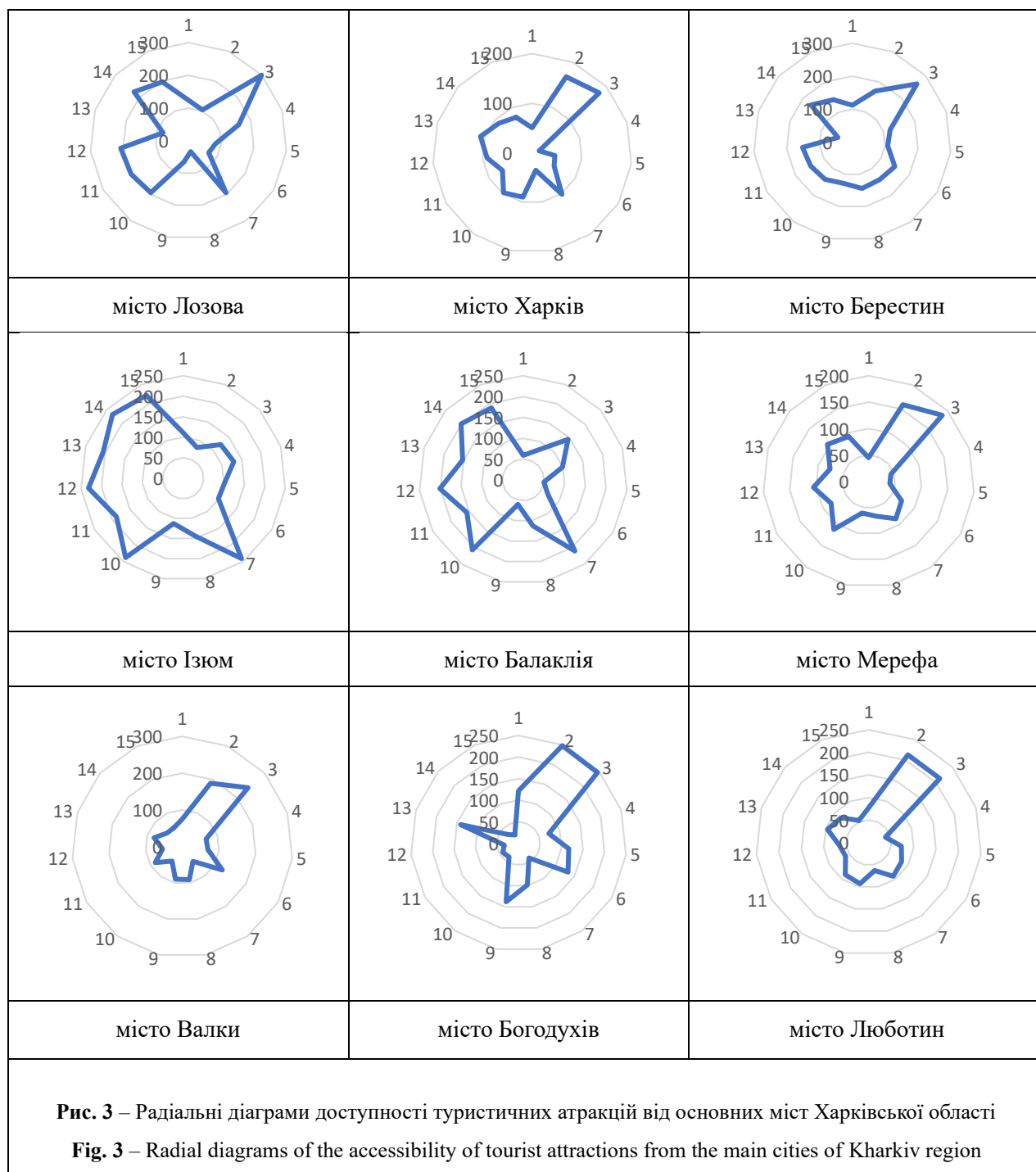
Таблиця 3

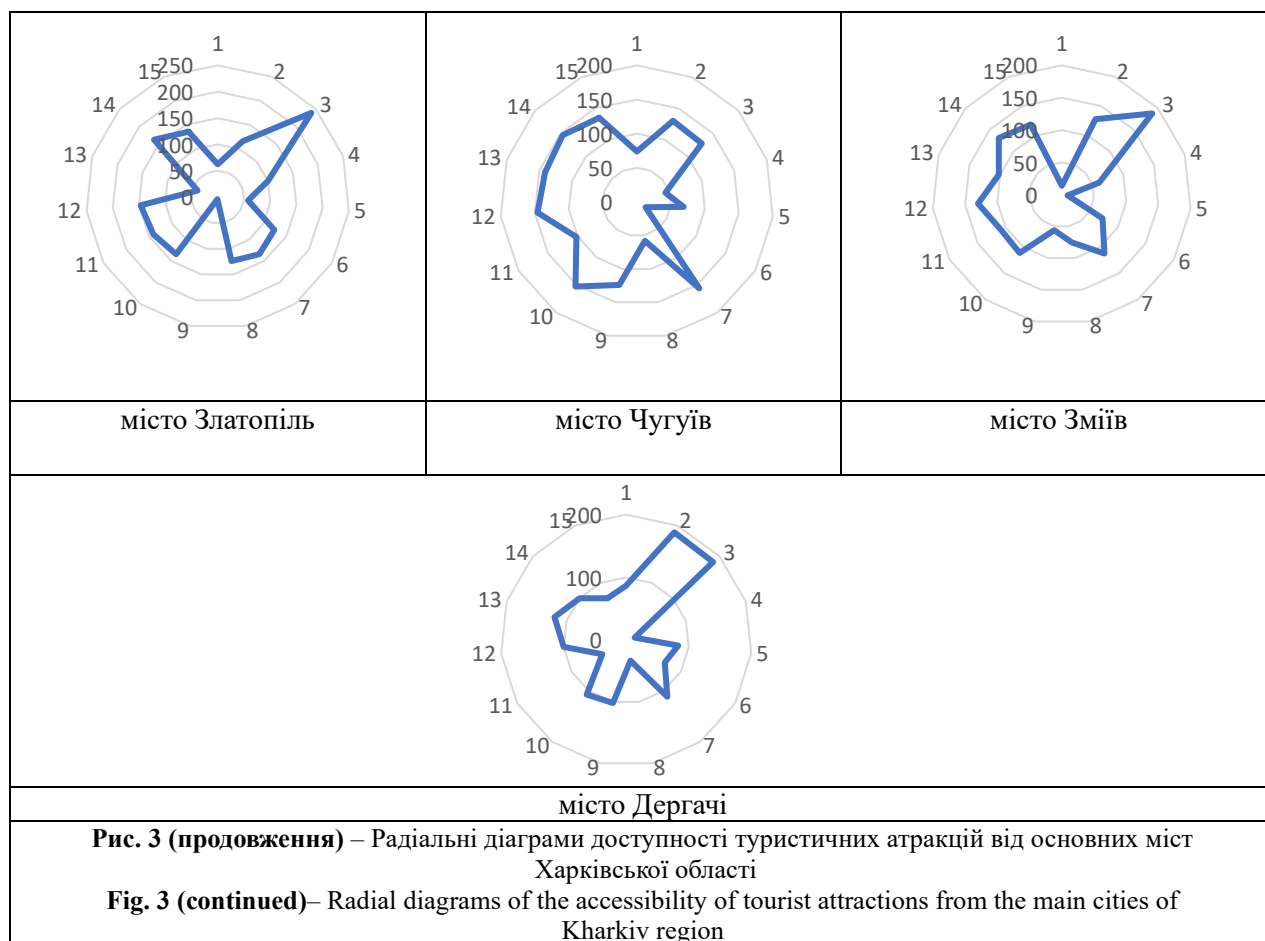
Матриця доступності туристичних атракцій Харківщини

Table 3

Accessibility matrix of tourist attractions in Kharkiv region

	Лозова	Харків	Берестин	Ізюм	Балаклія	Мерефа	Валки	Богодухів	Люботин	Златопіль	Чугуїв	Зміїв	Дергачі
1. Національний природний парк "Гомільшанські ліси"	124	51	112	111	59	45	75	122	77	62	74	14	87
2. Гора Кременець	104	168	170	82	77	159	189	248	213	116	130	128	188
3. Національний природний парк "Дворічанський"	300	181	264	123	145	187	240	246	212	239	128	188	186
4. Фельдман-Екопарк	162	15	121	130	99	44	68	74	39	100	44	61	14
5. Зміївські кручі	83	46	108	102	50	40	70	117	73	58	69	9	83
6. Кицівська пустеля	71	51	149	99	68	72	125	132	84	124	15	73	71
7. Краснокутський дендропарк	195	102	141	242	211	87	49	41	92	134	156	112	111
8. Липецькі печери	33	35	144	144	113	67	91	98	63	124	58	75	33
9. Олексіївська фортеця	65	90	128	113	60	61	90	138	93	4	124	56	102
10. Національний природний парк "Слобожанський"	195	98	140	239	208	112	48	38	88	134	153	111	107
11. Писарівський етнографічний музей	202	69	146	188	156	82	85	42	59	141	102	108	44
12. Садиба "Наталівка"	208	91	152	232	201	105	54	33	65	147	146	130	100
13. Солоне озеро	81	109	46	205	153	77	81	141	96	40	141	102	120
14. Співочі тераси	224	90	169	232	201	105	56	31	82	163	146	131	100
15. Шарівський замок	197	79	141	221	189	93	57	22	54	136	135	119	73





воєнний період, сприяючи збереженню природних ресурсів, підвищенню економічної активності та створенню робочих місць.

Подальший розвиток цієї сфери потребує вдосконалення туристичної інфраструктури відповідно до міжнародних стандартів, популяризації екотуризму на національному та міжнародному рівнях, а також залучення інвестицій у нові екологічні проєкти.

Крім того, для детального аналізу туристичного потенціалу інших регіонів було проведено додаткове дослідження туристичних об'єктів Харківської області [33]. Опис та класифікація кожного об'єкта з матриці дозволяє оцінити його привабливість, доступність та економічну ефективність для регіону та відвідувачів. Об'єкти класифіковано за такими категоріями: природні атракції, культурні та історичні об'єкти, екологічні та рекреаційні

зони, етнографічні та народні пам'ятки, природні водойми та особливі природні явища, акустичні пам'ятки.

1. Природні атракції:

- Національний природний парк «Гомільшанські ліси» - створений у 2004 році для збереження лісостепових природних комплексів долини р. Сіверський Донець. Має значну цінність для біорізноманіття, наукових досліджень та рекреації. Тут збереглися скіфські городища та козацький монастир.
- Гора Кременець - найвища точка Харківської області, відома своїми кам'яними монументами. Важливий географічний та археологічний об'єкт.
- Національний природний парк «Дворічанський» - визначається унікальними крейдяними ландшафтами, які мають наукове зна-

чення завдяки геологічним і палеонтологічним ресурсам.

- Зміївські кручі - характеризуються зсувними терасами. Є цінним об'єктом для географічних досліджень та зберігають стародавні легенди.
- Київська пустеля - єдина напівпустеля Харківської області, привертає увагу унікальною екосистемою. Популярне місце для екстремальних видів спорту та туристичних походів.
- Національний природний парк «Слобожанський» - частина Слобожансько-Галицького екологічного коридору, де ліси займають понад 90% території. Важливий для збереження біорізноманіття та розвитку рекреації.

2. Культурні та історичні об'єкти:

- Краснокутський дендропарк - один із найстаріших в Україні, заснований понад 200 років тому. Вражає своєю садово-парковою архітектурою XVIII століття.
- Липецькі печери - антропогенні печери в смт. Липці, які мають значну археологічну цінність.
- Олексіївська фортеця - зведена у 1731 році як частина Української оборонної лінії. Важливий історичний та архітектурний об'єкт.
- Шарівський замок - неоготичний палац кінця XIX століття в селищі Шарівка. Вражає своєю архітектурою, декором і розкішними ландшафтами.

3. Екологічні та рекреаційні зони:

- Фельдман Екопарк - відомий зоопарком, займається екологічною освітою та реабілітацією тварин. Важливий центр збереження рідкісних видів.

4. Етнографічні та народні пам'ятки:

- Писарівський етнографічний музей - музей під відкритим небом, що демонструє старовинні зразки народної архітектури Слобідського краю: вітряк, корчму, комору, селянську хату.
- Садиба «Наталівка» - розташована на річці Мерчик, побудована цукровим магнатом І. Харитоненком. Вражає парковою архітектурою XIX століття, зберігає величний ландшафт та старовинні дубові ліси.

5. Природні водойми та особливі природні явища:

- Солоне озеро - унікальний природний об'єкт із високою концентрацією солі, що нагадує Мертве море. Відоме лікувальними властивостями та можливістю плавання без ризику потонути.

6. Акустичні пам'ятки:

- Співочі тераси - унікальна пам'ятка садово-паркової культури у формі амфітеатру. Завдяки чудовій акустиці стала популярним місцем для концертів та культурних заходів.

Аналіз туристичних об'єктів регіону дозволяє визначити їхній вплив на загальний туристичний потенціал області, що допомагає у виборі оптимальних маршрутів і стратегії розвитку туризму

Висновки

Дослідження світових практик організації екологічного туризму виявило важливість інтеграції стійких підходів до природокористування, активного залучення місцевих громад та ефективного збереження природних і культурних ресурсів. Задля успішної реалізації екотуризму необхідно забезпечити тісну взаємодію між державними органами влади, приватними підприємствами та громадськими ініціативами. Україна має значний потенціал для розвитку цього виду туризму, проте низка

проблем, зокрема недосконала інфраструктура та обмежене фінансування, стримують реалізацію цього потенціалу на повну силу.

Аналіз природно-ресурсного потенціалу Закарпатської, Львівської та Харківської областей підтвердив наявність унікальних природних і культурних об'єктів, які можуть стати основою для розвитку зеленого туризму. Важливим напрямком розвитку є формування «зелених» туристичних селищ у природних зонах, національних та регіональних ланд-

шафтних парках. Для Львівської області важливою перспективою є створення туристичних кластерів на базі історичних об'єктів, таких як замки, палаци та монастирі, що сприятиме розвитку культурно-історичного туризму в сільській місцевості.

Результати дослідження також підтвердили необхідність покращення інформаційного забезпечення зеленого (екологічного) туризму шляхом розробки матриць доступності та радіальних діаграм. На основі аналізу створених матриць зроблено висновки, у Львівській та Харківській областях найбільш перспективними для розвитку зеленого туризму є центральні міста, такі як Львів, Пустомити, Валки та Богодухів, завдяки їхньому зручному географічному розташуванню

та добре розвинутій транспортній мережі. Водночас для менш доступних районів, таких як Броди, Золочів, Ізюм та гірські райони Закарпаття, необхідно здійснити поліпшення транспортної інфраструктури та створення зручних умов для доступу до туристичних об'єктів.

Таким чином, розвиток зеленого туризму в Україні має значний потенціал сприяти економічному, соціальному та екологічному розвитку країни. Реалізація запропонованих ініціатив забезпечить ефективне використання природних і культурних ресурсів, створить нові робочі місця та підвищить конкурентоспроможність українських регіонів на туристичному ринку, як внутрішньому, так і міжнародному.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Fennell D. A., Cooper C. Sustainable tourism: Principles, contexts and practices. Bristol: Channel View Publications, 2020. 28 p. DOI: <https://doi.org/10.2307/jj.22730621>
2. Dewi A. A. S. L., Rahayu M. I. F., Wibisana A. A. N. A. Green Tourism In Sustainable Tourism Development in Bali Based On Local Wisdom. *Journal Dinamika Hukum*. 2023. № 1. P. 111–130. URL: <https://dinamikahukum.fh.unsoed.ac.id/index.php/JDH/article/view/3489/790>
3. Susiyanto S. Concept Application Analysis Green Tourism in the Development of Borobudur Temple as a Super Priority Destination. *Ideas: Jurnal Pendidikan, Sosial, dan Budaya*. 2022. Т. 8, № 4. P. 1371–1378. DOI: <https://doi.org/10.32884/ideas.v8i4.10> (дата звернення: 26.06.2024).
4. Rahmawati R. та ін. Green entrepreneurship: a study for developing eco-tourism in Indonesia. *The Journal of Asian Finance, Economics and Business*. 2021. Vol. 8, № 5. P. 143–150. DOI: <https://doi.org/10.13106/jafeb.2021.vol8.no5.0143>
5. Yue X.-G. та ін. The role of green innovation and tourism towards carbon neutrality in Thailand: Evidence from bootstrap ADRL approach. *Journal of Environmental Management*. 2021. Vol. 292. P. 234–241. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021> (дата звернення: 26.06.2024).
6. Nistoreanu P., Aluculesei A.-C., Avram D. Is green marketing a label for ecotourism? The Romanian Experience. *Information*. 2020. Vol. 11, № 8. P. 389. DOI: <https://doi.org/10.3390/info11080389>
7. Lolua D., Aladashvili M. Green tourism - a contributing factor to the development of the green economy. *Globalization and Business*. 2020. Vol. 5. № 9. P. 171–178. DOI: <https://doi.org/10.35945/gb.2020.09> (дата звернення: 26.06.2024).
8. Zheng Q., Chengcai T., Ying Z. Evaluation and Enhancement Model of the Development Potential of Green Tourism in Beijing's Ecological Conservation Area. *Journal of Resources and Ecology*. 2024. Vol. 15, № 2. P. 484–495. DOI: <https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764> (дата звернення: 26.06.2024).
9. Hall C. M. Tourism and the Capitalocene: From green growth to ecocide. *Tourism Planning & Development*. 2022. Vol. 19, № 1. P. 61–74. DOI: <https://doi.org/10.1080/21568316.2021> (дата звернення: 26.06.2024).
10. Saseanu A. S. та ін. Aspects of digitalization and related impact on green tourism in European countries. *Information*. 2020. Vol. 11, № 11. p. 507–510. DOI: <https://doi.org/10.3390/info11110507> (дата звернення: 26.06.2024).
11. Toubes D. R., Araújo-Vila N. A review research on tourism in the green economy. *Economies*. 2022. Vol. 10, № 6. p. 137–149. DOI: <https://doi.org/10.3390/economies100> (дата звернення: 26.06.2024).

12. Chen W. Developing a Sustainable Business Model of Ecotourism in Ethnic-Minority Regions Guided by the Green Economy Concept. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, № 2. p. 14–22. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15021400> (дата звернення: 26.06.2024).
13. Shang Y. та ін. Eco-tourism, climate change, and environmental policies: empirical evidence from developing economies. *Humanities and Social Sciences Communications*. 2023. Vol. 10, № 1. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1057/s41599-023> (дата звернення: 26.06.2024).
14. Baloch Q. B. та ін. Impact of tourism development upon environmental sustainability: a suggested framework for sustainable ecotourism. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. Vol. 30, № 3. P. 5917–5930. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22496-w> (дата звернення: 26.06.2024).
15. Salman A., Jaafar M., Mohamad D. A comprehensive review of the role of Ecotourism in sustainable tourism development. *E-Review of Tourism Research*. 2020. Vol. 18, № 2. P. 215–233. URL: <https://ertr-ojs-tamu.tdl.org/ertr/index.php/ertr/article/view/482> (дата звернення: 26.06.2024).
16. Бойко В. О., Бойко Л.О. Сільський зелений туризм як ефективний інструмент ревіталізації сільських територій у післявоєнний період. Концептуальні підходи та механізми стимулювання розвитку соціально-економічних систем та суб'єктів ринку : монографія / за заг. ред. Н. В. Шандової. Херсон: Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В. С., 2023. С.68-79. URL:<https://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/8135?show=full> (дата звернення: 30.03.2025).
17. Самсонова В. В. Зелений туризм як каталізатор сталого розвитку територій та формування ресурсного потенціалу територіальних громад. Від теорії до практики в управлінні та врядуванні: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 20 червня 2024 року (до Дня державної служби) / за заг. ред. О. В. Євсюкової, І. С. Гриценка, С. М. Приліпка. Київ: НУБіП, 2024. С. 143–144.
18. Перспективи розвитку сільського зеленого туризму в Україні. Все про туризм: туристична бібліотека. URL: https://tourlib.net/statti_ukr/siltur7.htm (дата звернення: 30.03.2025).
19. Хмара О. Зелений туризм в Україні. Тренди розвитку менеджменту, фінансів та бізнес-технологій в умовах формування сучасної економіки та суспільства: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції (30 листопада 2022 року). – Київ: Міжнародний європейський університет. – 2022. С. 171–173. URL: <https://oa.nmu.org.ua/ua/folder20> (дата звернення: 01.03.2025).
20. Кісіль К. Сільський (зелений) туризм: шляхи підвищення ефективності. Міжнародні наукові дослідження: інтеграція науки та практики як механізм ефективного розвитку: матеріали V Міжнар. науково-практ. конф., м. Київ, 26 квіт. 2023 р. Київ, 2023. С. 71–73. URL:https://novaosvita.com/wp-content/uploads/2024/09/IntScRes-Kyiv-Apr2024_v2.pdf#page=72 (дата звернення: 01.03.2025).
21. Донець М., Васильчук В. Зелений туризм у Німеччині. Світ цінностей і цінності у світі: матеріали міжнар. студент. науково-практ. відеоконференції, м. Київ, 13 трав. 2021 р. Київ, 2021. С. 650–653. URL:<https://psy.knlu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/02/Тези-студентів-2021.pdf#page=650> (дата звернення: 01.03.2025).
22. Олійник, В., & Данілова, О. (2025). Організація туризму: сільський зелений туризм світовий досвід та перспективи розвитку в Україні. *Економіка та суспільство*, (72). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-72-30>.
23. Бойко А. А., Добровольська В. А. Зелений туризм на Херсонщині: проблеми та перспективи. Географія та туризм: матеріали V Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції (28 лютого 2022 р., м. Харків). Харків: ХНПУ ім. Г. С. Сковороди, 2022. С. 242–245. URL:<https://dspace.hnpu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/d48fb7c1-bd20-4f6e-b312-b913e344ae46/content> (дата звернення: 01.03.2025).
24. Белобородова М. В. Сільський зелений туризм як напрям розвитку Петриківської громади. Наукова весна 2023: матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (1–3 березня 2023 р., м. Дніпро). Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2023. С. 419–421. URL:https://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/163837/Наукова_весна_2023-419-421.pdf (дата звернення: 01.03.2025).
25. Шевченко О. О. Сільський зелений туризм в умовах воєнного стану. Освіта і наука в умовах викликів і загроз. Внесок молодих вчених в сталий розвиток: тези міжнародної наукової конференції (21–22 листопада 2024 р., м. Київ). Київ: НУБіП України, 2024. С. 228–232. URL:https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u349/zbirnik_tez_iae.pdf#page=228 (дата звернення: 01.03.2025).
26. Марусей Т. В. Зелений туризм як екологічний напрям розвитку сільських територій. Розвиток сільських територій на засадах екологічності, енергонезалежності й енергоефективності: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (11 листопада 2021 р., м. Полтава). Полтава: Полтавський державний аграрний університет, 2021. С. 19–22. URL:https://zhatk.zt.ua/wpcontent/uploads/2021/11/zbirnik_pdau_11.11.pdf#page=20 (дата звернення: 01.03.2025).

27. Кальченко С. В. Сільський зелений туризм як об'єкт екологічного маркетингу. Туризм у XXI столітті: виклики та реагування: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (27–28 травня 2021 р., м. Мелітополь). Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 70–72. URL: http://feb.tsatu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/06/Zbirnik-tez-2021_33_04-1.pdf#page=72 (дата звернення: 01.03.2025).
28. Бойко В. О. Екологічний туризм як складова зеленої економіки. *Ефективна економіка*. 2021. № 4. С.58-61 DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.4.73>
29. Кадош С. В., Редько В. Є. Теоретичні і практичні аспекти розвитку сільського туризму в Дніпропетровській області. *Ефективна економіка*. 2021. № 1. С.123-126. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/> (дата звернення: 01.03.2025).
30. Тишук І., Ільїна О. Сільський зелений туризм в Україні: стан, динаміка, міжнародний досвід. *Географічні часописи ВНУ*. 2024. № 3. С. 87–132. DOI: 10.32782/geochasvnu.2024.3.12. (дата звернення: 01.03.2025).
31. Максименко Н. В., Коротецька Є. С. Матриця доступності туристичних атракцій Закарпаття для розвитку зеленого туризму. Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2024: матеріали XXVI Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 17-18 квітня 2024 року). Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. С. 70-72. https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2024/05/tezi-xxvi_mezhd-konf-2024.pdf
32. Максименко Н. В., Коротецька Є. С. Оцінка доступності для відвідування об'єктів ПЗФ Львівської області. Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи: тези доповідей III Міжнародної Інтернет-конференції (м. Харків, 26 квітня 2024 р.). Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. С. 56-59. <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/18638>
33. Коротецька Є. С., Максименко Н. В. Матриця доступності туристичних об'єктів Харківської області та їх характеристика для розвитку зеленого туризму. Охорона довкілля: матеріали XX Всеукраїнських наукових Таліївських читань. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. С.128-130. <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/19452>

Стаття надійшла до редакції 11.05.2025

Стаття рекомендована до друку 20.06.2025

N. V. MAKSYMENKO¹, DSc (Geography), Prof.,

Head of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management

e-mail: maksymenko@karazin.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7921-9990>

Ye. S. KOROTETSKA¹,

Student

e-mail: l.korotetska2021.9512119@student.karazin.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3925-7191>

¹V. N. Karazin Kharkiv National University,
4, Svobody Square, Kharkiv, 61022, Ukraine

INNOVATIONS IN THE ORGANIZATION OF ECOLOGICAL (GREEN) TOURISM: REGIONAL PECULIARITIES

Purpose. To search for new, systematic approaches to the development of ecological tourism in Ukraine, based on strategies of sustainability, innovation and integration with the local socio-economic context.

Methods. The comparison was made on the basis of a retrospective analysis of literature, stock and Internet resources on the organization of ecological tourism. Distances were measured using the Google Maps mapping service.

Results. The study has revealed characteristic regional differences in approaches to the organization of ecological tourism in three regions of Ukraine, namely: in Zakarpattia it is a combination of health improvement and cultural heritage, in Lviv region - outdoor activities with ethnic elements, in Kharkiv region - eco-practices with elements of rural life. A new information form for green tourism is proposed - a matrix of tourist accessibility, which

is a form of visualization of the distances between key settlements and tourist locations in the region. Firstly, it visualizes transport accessibility: a tourist can easily find out how quickly it is possible to get from a particular estate to the chosen object. Secondly, it helps to plan routes efficiently - you can build both shortest routes and thematic routes based on objects of the same type (for example, castles, waterfalls, farms, etc.). Thirdly, the matrix supports an informed choice of a farmstead: a tourist chooses the one that is closest to the desired locations. Initial versions of the matrix and sets of radial diagrams have been developed for three model regions of Ukraine (Transcarpathia, Lviv, and Kharkiv).

Conclusions. The matrix, as a proposed innovative tool for green (ecological) tourism, has a wide range of functionalities. The implementation of the proposed initiatives will ensure the effective use of natural and cultural resources, create new jobs and increase the competitiveness of Ukrainian regions in the tourism market, both domestic and international.

KEYWORDS: *green tourism, ecotourism, recreation, green estates, accessibility matrix, radial diagram, natural landscapes, regions*

References

1. Fennell, D. A., & Cooper, C. (2020). Sustainable tourism: Principles, contexts and practices. Bristol: Channel View Publications. <https://doi.org/10.2307/ji.22730621>
2. Dewi, A. A. S. L., Rahayu, M. I. F., & Wibisana, A. A. N. A. (2023). Green Tourism in Sustainable Tourism Development in Bali Based on Local Wisdom. *Journal Dinamika Hukum*. (1), 111–130. Retrieved from <https://dina-mikahukum.fh.unsoed.ac.id/index.php/JDH/article/view/3489/790>
3. Susiyanto, S. (2022). Concept Application Analysis Green Tourism in the Development of Borobudur Temple as a Super Priority Destination. *Ideas: Jurnal Pendidikan, Sosial, dan Budaya*, 8(4), 1371–1378. <https://doi.org/10.32884/ideas.v8i4.1080>
4. Rahmawati, R. Rahmawati, R.; Suprapti, A. R., Inta, S. R. H., & Sudira, P. (2021). Green entrepreneurship: a study for developing eco-tourism in Indonesia. *The Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 8(5), 143–150. <https://doi.org/10.13106/jafeb.2021.vol8.no5.0143>
5. Yue, X.-G., Liao, Y., Zheng, S., Xuefeng Shao, X., & Gao, J. (2021). The role of green innovation and tourism towards carbon neutrality in Thailand: Evidence from bootstrap ADRL approach. *Journal of Environmental Management*, 292, P. 234–241. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112778>
6. Nistoreanu, P., Aluculesei, A.-C., & Avram, D. (2020). Is green marketing a label for ecotourism? The Romanian Experience. *Information*, 11(8), 389. <https://doi.org/10.3390/info11080389>
7. Lolua, D., & Aladashvili, M. (2020). Green tourism - a contributing factor to the development of the green economy. *Globalization and Business*, 5(9), 171–178. <https://doi.org/10.35945/gb.2020.09.021>
8. Zheng, Q., Chengcai, T., & Ying, Z. (2024). Evaluation and Enhancement Model of the Development Potential of Green Tourism in Beijing's Ecological Conservation Area. *Journal of Resources and Ecology*, 15(2), 484–495. <https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764>
9. Hall, C. M. (2022). Tourism and the Capitalocene: From green growth to ecocide. *Tourism Planning & Development*, 19(1), 61–74. <https://doi.org/10.1080/21568316.2021>
10. Saseanu, A. S., Ghita S. I., Albastroiu I., & Stoian C.-A. (2020). Aspects of digitalization and related impact on green tourism in European countries. *Information*, 11(11), 507–510. <https://doi.org/10.3390/info11110507>
11. Toubes, D. R., & Araújo-Vila, N. (2022). A review research on tourism in the green economy. *Economies*, 10(6), 137–149. <https://doi.org/10.3390/economies100>
12. Chen, W. (2023). Developing a Sustainable Business Model of Ecotourism in Ethnic-Minority Regions Guided by the Green Economy Concept. *Sustainability*, 15(2), 14–22. <https://doi.org/10.3390/su15021400>
13. Shang, Y., Bi, C., Wei, X. Jiang D., Taghizadeh-Hesary F., Rasoulinezhad E. (2023). Eco-tourism, climate change, and environmental policies: empirical evidence from developing economies. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1), 1–9. <https://doi.org/10.1057/s41599-023>
14. Baloch, Q. B., Shah, S.N., Iqbal, N., Sheeraz, M., Asadullah, M., Mahar S. & Khan A.U. (2023). Impact of tourism development upon environmental sustainability: a suggested framework for sustainable ecotourism. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(3), 5917–5930. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22496-w>

15. Salman, A., Jaafar, M., Mohamad, D. (2020). A comprehensive review of the role of Ecotourism in sustainable tourism development. *E-Review of Tourism Research*. 18(2), 215–233. Retrieved from <https://ertr-ojs-tamu.tdl.org/ertr/index.php/ertr/article/view/482>
16. Boyko, V. O., & Boyko, L. O. (2023). Rural green tourism as an effective tool for revitalising rural areas in the post-war period. In N. V. Shandova (Ed.) *Conceptual approaches and mechanisms for stimulating the development of socio-economic systems and market entities*. Kherson: Book Publishing House of Individual Entrepreneur Vyshemirskiy V. S., 68 -79. Retrieved from <https://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/8135?show=full>
17. Samsonova, V. V. (2024). Green tourism as a catalyst for sustainable development of territories and formation of the resource potential of territorial communities. In O. V. Yevsiukova, I. S. Hrytsenko, & S. M. Prylipko (Eds.) *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference: From Theory to Practice in Management and Governance, dedicated to the Day of Civil Service*, Kyiv, 20 June 2024. (pp. 143-144). Kyiv: NUBiP.
18. Prospects for the development of rural green tourism in Ukraine. *All about tourism: tourist library*. Retrieved from https://tourlib.net/statti_ukr/siltur7.htm
19. Cloud, O. (2022). Green tourism in Ukraine. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference: Trends in the Development of Management, Finance and Business Technologies in the Context of the Formation of the Modern Economy and Society*, (30 November 2022, pp. 171-173). Kyiv: International European University. Retrieved from <https://oa.nmu.org.ua/ua/folder20> (accessed: 30.03.2025).
20. Kisil, K. (2023). Rural (green) tourism: ways to increase efficiency. *Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference International Scientific Research: Integration of Science and Practice as a Mechanism for Effective Development*, (Kyiv, 26 April. 2023. Kyiv, pp. 71-73). Retrieved from https://novaosvita.com/wp-content/uploads/2024/09/IntScRes-Kyiv-Apr2024_v2.pdf#page=72
21. Donets, M., Vasylichuk, V. (2021). Green tourism in Germany. *Proceedings of the International Student Scientific and Practical Videoconference: The World of Values and Values in the World.*, Kyiv, 13 May. Kyiv, P. 650-653. Retrieved from <https://psy.knlu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/02/Тези-студентів-2021.pdf#page=650>
22. Oliynyk, V., & Danilova, O. (2025). Organisation of tourism: rural green tourism world experience and prospects for development in Ukraine. *Economy and Society*, (72). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-72-30>
23. Boyko, A. A., & Dobrovolska, V. A. (2022). Green tourism in the Kherson region: problems and prospects. *Proceedings of the V All-Ukrainian scientific and practical Internet conference: Geography and tourism: (28 February 2022, Kharkiv, pp. 242-245)*. Kharkiv: H. S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University, Retrieved from <https://dspace.hnpu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/d48fb7c1-bd20-4f6e-b312-b913e344ae46/content>
24. Beloborodova, M. V. (2023). Rural green tourism as a direction of development of the Petrykivka community. *Proceedings of the XIII International Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists: Scientific Spring 202, (1-3 March 2023, Dnipro, pp. 419-421)*. Dnipro: NTU 'Dnipro Polytechnic'. Retrieved from <https://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle2023-419-421.pdf>
25. Shevchenko, O.O. (2024). Rural green tourism under martial law. Education and science in the face of challenges and threats. *Proceedings of the International Scientific Conference: Contribution of young scientists to sustainable development*, (21-22 November 2024, Kyiv, pp. 228-232). Kyiv: NULES of Ukraine. Retrieved from https://nu-bip.edu.ua/sites/default/files/u349/zbirnik_tez_iae.pdf#page=228
26. Marusei, T.V. (2021). Green tourism as an ecological direction of rural development. *Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference: Development of Rural Areas on the Basis of Environmental Friendliness, Energy Independence and Energy Efficiency*, (11 November 2021, Poltava, pp. 19-22). Poltava: Poltava State Agrarian University, Retrieved from https://zhatk.zt.ua/wpcontent/uploads/2021/11/zbirnik_pdauii.11.pdf#page=20
27. Rural, A.S. (2021). Green tourism as an object of environmental marketing. *Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference: Tourism in the XXI century: Challenges and Responses: (27-28 May 2021, Melitopol, pp. 70-72)*. Melitopol: TDATU. Retrieved from http://feb.tsatu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/06/Zbirnik-tez-2021_33_04-1.pdf#page=72
28. Boiko, V. O. (2021). Ecological tourism as a component of the green economy. *Effective economy*. (4). 58-61. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.4.73>
29. Kadosh, S.V., & Redko, V.E. (2021). Theoretical and practical aspects of rural tourism development in Dnipropetrovska oblast. *Effective Economy*, (1), 123-126. Retrieved from <http://www.economy.nayka.com.ua/>

30. Tyshchuk, I., & Ilyina, O. (2024). Rural green tourism in Ukraine: state, dynamics, international experience. *Geographical journals of VNU*, (3), 87-132. <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2024.3.12>
31. Maksymenko, N.V., & Korotetska, Y.S. (2024). Matrix of accessibility of tourist attractions of Transcarpathia for the development of green tourism. Proceedings of the XXVI International Scientific and Practical Conference: Ecology, Environmental Protection and Balanced Nature Management: Education - Science - Production – 2024, (Kharkiv, April 17-18, 2024). Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University, 70-72. Retrieved from https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2024/05/tezi-xxvi_mezhd-konf-2024.pdf
32. Maksymenko, N.V., & Korotetska, Y.S. (2024). Assessment of accessibility of protected areas in Lviv region. Proceedings of the III International Internet Conference: Actual Problems of Formal and Non-Formal Education in Environmental Monitoring and Conservation, (Kharkiv, April 26, 2024, pp.56-59). V. N. Karazin Kharkiv National University. Retrieved from <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/18638>
33. Korotetska, Y.S., & Maksymenko, N.V. (2024). The matrix of accessibility of tourist sites in Kharkiv region and their characteristics for the development of green tourism. Proceedings of the XX All-Ukrainian Scientific Taliev readings: Environmental protection, Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University, 128-130. Retrieved from <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/19452>

The article was received by the editors 11.05.2025

The article is recommended for printing 20.06.2025

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-04>

УДК(UDC): 504.4.54

В. В. ТЕРЗЕМАН¹,

аспірант кафедри екології та охорони довкілля

e-mail: mikkymailz@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-2298-1003>

С. М. ЮРАСОВ¹, канд. техн. наук, доц.,

доцент кафедри екології та охорони довкілля

e-mail: urasen54@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4312-249X>

¹Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна

ПРОГНОЗ ВМІСТУ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН У ВОДАХ РІЧКИ ДУНАЙ (КІЛІЯ)

Мета. Оцінка та прогнозування ризику погіршення якості вод річки Дунай у межах міста Кілія за показником біохімічного споживання кисню ($БСК_5$).

Методи. Статистичні методи аналізу, зокрема логнормальний розподіл для оцінки ймовірностей перевищення граничних концентрацій, а також метод екстраполяції ліній тренду для прогнозування динаміки показника $БСК_5$. Візуалізацію даних здійснено шляхом побудови графіків для різних часових інтервалів.

Результати. На основі нерегулярних моніторингових даних, із урахуванням екологічних нормативів та вимог директив ЄС порівняно фактичні і прогнозовані значення $БСК_5$. Визначено задовільний рівень розбіжності (до 17% при оцінці ризику та до 5% при оцінці фактичних значень), що підтверджує ефективність обраного підходу навіть за умов нерегулярного моніторингу. Встановлено, що вміст органічних речовин у воді при забезпеченості 10% значно перевищує екологічно допустиме значення 3 мг/дм³ (відповідно до норм ЄС) та має тенденцію до поступового зростання.

Висновки. Підтверджено ефективність застосованого підходу до прогнозування якості води за умов нерегулярного моніторингу. Використання логнормального розподілу в поєднанні з екстраполяцією ліній тренду дозволило отримати надійні оцінки як фактичного стану вод, так і ймовірності перевищення екологічно небезпечних концентрацій.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Дунай, $БСК_5$, якість води, органічне забруднення, прогноз, логнормальний розподіл, моніторинг, ризик.

Як цитувати: Терзема В. В., Юрасов С. М. Прогноз вмісту органічних речовин у водах річки Дунай (Кілія). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2025. Вип. 32. С. 61 - 70. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-04>

In cites: Terzeman, V. V. & Yurasov, S. M. (2025). Forecast of organic matter content in the waters of the Danube river (Kilia). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (32), 61 -70. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-04> (in Ukrainian)

Вступ

Прогнозування якості води є складним процесом, який безпосередньо залежить від наявності регулярних, репрезентативних і достовірних моніторингових даних. Без постійного надходження таких даних неможливо точно оцінити динаміку змін у водних об'єктах, виявити тенденції забруднення чи

визначити потенційні загрози для довкілля та здоров'я населення.

Оцінці та прогнозу якості вод присвячено багато наукових робіт зарубіжних та вітчизняних авторів. Роботи авторів [1 - 4], направлені на оцінку та прогнозування якості вод, насамперед у річці Дунай (нижній, се-

редній, румунський та сербський відрізки) з використанням різних методів: застосування індексів якості води для комплексної оцінки використання гідрологічних моделей [5, 6], статистичного та просторово-часового аналізу [7], використання нейронних мереж та алгоритмів машинного навчання [8 - 11]. В дослідженнях де зустрічались нерегулярні дані спостережень [8, 9], використовувались нейронні мережі, що адаптовані до обробки пропущених даних.

Моделі прогнозу якості води базуються на аналізі історичних та поточних спостережень щодо вмісту хімічних речовин, біологічних показників, фізико-хімічних параметрів тощо. Якщо ці дані є неповними або нерегулярними, точність будь-якого прогнозу різко знижується. Отримання достовірних і регулярних даних про якість води в Україні супроводжується низкою складних і системних проблем. Насамперед, це інституційна розрізненість: у процесі моніторингу залучено багато державних і регіональних структур — Держводагентство, Міндовкілля, обласні водні управління, лабораторії МОЗ та інші, однак чітка координація між ними часто відсутня. Це призводить до дублювання зусиль або до пропусків у спостереженнях. Водночас хронічна нестача фінансування обмежує технічні можливості багатьох лабораторій: аналітичне обладнання застаріле, а ресурсів на його оновлення та навчання персоналу недостатньо.

У цьому контексті особливо актуальним є застосування адаптивних статистичних підходів, які дозволяють використовувати навіть неповні або нерегулярні дані для отримання обґрунтованих екологічних висновків. Зокрема, моделювання та прогнозування на основі логнормального розподілу і побудови трендових залежностей створює наукове підґрунтя для виявлення ризиків погіршення якості вод у майбутньому. Урахування вимог Водної рамкової директиви ЄС при цьому є важливою умовою гармонізації підходів до управління водними ресурсами України з європейськими стандартами.

Дослідження, представлене в цій роботі, спрямоване на оцінку та прогнозування ризику органічного забруднення вод річки Дунай у районі м. Кілія, з опорою на аналіз показника BCK_5 . Особливу увагу приділено особливостям обробки та інтерпретації нерегулярних моніторингових даних, що робить результати дослідження актуальними як з наукової, так і з

прикладної точки зору

Об'єкт дослідження — якість вод річки Дунай у межах міста Кілія.

Предмет дослідження — статистичні закономірності зміни показника біохімічного споживання кисню (BCK_5) у водах річки Дунай поблизу м. Кілія.

Метою дослідження є проведення кількісної оцінки та побудова прогнозу ризику погіршення якості вод річки Дунай у межах міста Кілія на основі аналізу показника біохімічного споживання кисню протягом п'яти діб (BCK_5), який відображає рівень вмісту органічних речовин у воді. Дослідження ґрунтується на аналізі даних нерегулярного моніторингу за допомогою статистичних методів — зокрема, логнормального розподілу, який дозволяє оцінити ймовірнісну природу концентрацій забруднювачів, а також екстраполяції трендів для визначення потенційних змін у часі.

Окрема увага приділяється відповідності результатів дослідження екологічним стандартам, встановленим у законодавстві України та в рамках імплементації вимог Водної рамкової директиви Європейського Союзу. Прогнозоване значення BCK_5 у цьому контексті виступає як інтегральний індикатор вмісту біологічно розкладених органічних речовин у водному середовищі, що дозволяє не лише оцінити сучасний екологічний стан, а й виявити можливі тенденції його погіршення в умовах впливу антропогенних факторів і природних коливань. Таким чином, дослідження має на меті створення науково обґрунтованої бази для прийняття управлінських рішень щодо охорони водних ресурсів у нижній частині українського Дунаю.

Вирішено задачі:

- збір і попередня обробка моніторингових даних за показником BCK_5 річки Дунай у районі м. Кілія за період з 2015 по 2025 роки;
- аналіз динаміки зміни концентрацій органічних речовин за різні часові інтервали (2015-2021, 2015-2022, 2015-2023, 2015-2024 роки);
- побудова трендових ліній та екстраполяція даних для прогнозу змін показника BCK_5 ;
- оцінка ризику перевищення граничних концентрацій BCK_5 , відповідно до нормативів ЄС;
- оцінка ефективності методики шляхом порівняння фактичних і прогнозованих значень в умовах нерегулярного моніторингу.

Матеріали та методи дослідження

Оцінка якості вод. Оцінка якості вод в Україні регулюється низкою ключових нормативних документів. Основу становить Водний кодекс України [12], який визначає правові засади охорони та раціонального використання водних ресурсів. Важливе значення має Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища" [13], що встановлює загальні екологічні принципи, включаючи вимоги до якості вод. Державні санітарні правила і норми (ДСанПіН 2.2.4-171-10) [14] встановлюють гігієнічні вимоги до води поверхневих водойм, зокрема гранично допустимі концентрації (ГДК) хімічних і біологічних забруднювачів. Крім того, застосовуються екологічні нормативи якості водного середовища, затверджені МОЗ України, а також положення Водної рамкової директиви ЄС 2000/60/ЄС [15], які Україна поступово імплементує в рамках євроінтеграції.

Відповідно до Директив ЄС [16–21], якість поверхневих вод за певний період вважається такою, що відповідає встановленим нормативам, якщо перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) за кожним показником не перевищують 5% загальної кількості вимірювань для рибогосподарських вод або 10% — для санітарних норм.

Для здійснення надійного прогнозу якості вод необхідні великі масиви регулярних та репрезентативних даних спостережень, зібраних протягом тривалого часу. Така інформація дозволяє виявляти тренди змін, сезонні коливання, а також вплив природних та антропогенних факторів на стан водного середовища. Без достатньої кількості вимірювань важко встановити стійкі статистичні закономірності, що є критично важливим для побудови прогностичних моделей. Крім того, регулярність спостережень забезпечує точність оцінки ризиків та дозволяє оперативно реагувати на потенційні загрози для екосистем і здоров'я населення.

Проте на практиці отримати масиви даних спостережень, що повністю відповідають вимогам для побудови достовірної прогностичної моделі, досить складно. Найчастіше наявні дані є неповними, нерегулярними за часом і простором, а також охоплюють обмежену кількість показників. Спостереження можуть проводитися з великою перервою в часі, мати

різну методологію збору або бути зосередженими лише в окремих точках водного об'єкта, що ускладнює узагальнення результатів. Такі обмеження значно знижують точність і надійність прогнозів, а також вимагають застосування методів статистичної обробки, реконструкції даних або використання гібридних моделей, які поєднують емпіричні спостереження з експертними оцінками та математичним моделюванням.

Методологія дослідження включає статистичну обробку нерегулярних вибірок даних, зокрема побудову графіків динаміки значень $БСК_5$ за різні часові інтервали (2015–2021, 2015–2022, 2015–2023 та 2015–2024 роки) для візуального аналізу трендів. Для кількісної оцінки розподілу значень показника застосовано логнормальний розподіл, що враховує асиметричний характер екологічних даних та дозволяє моделювати ймовірнісні сценарії концентрацій органічних речовин. Прогнозування здійснено шляхом екстраполяції ліній тренду, що побудовані на основі апроксимованих значень у часовому ряді. Результати оцінювалися з урахуванням екологічних нормативів, передбачених українським законодавством і вимогами Водної рамкової директиви Європейського Союзу.

Для прогнозування на основі таких нерегулярних даних спостережень ми визначаємо параметри лінії тренду, що дозволяє виявити прогностичні значення показника, за формулою (1) [22, 23], що наведена нижче:

$$C_{iF} = a_i \cdot \exp(j \cdot b_i) \cdot \text{ЛОГНОРМОБР}(1-F; 0; \check{G}_{HTi}), \quad (1)$$

де C_{iF} – значення показника з забезпеченістю F ;

a_i і b_i – параметри лінії часового тренду;
 $\text{ЛОГНОРМОБР}()$ – оператор в табличному редакторі Excel;

F – забезпеченість;

0 і $\check{G}_{HTi}$ – параметри логнормального розподілу ряду спостережень, нормованого по лінії експоненціального тренду.

Для того щоб спрогнозувати ризик погіршення якості вод за обраним показником, треба використовувати формулу (2) [22, 23]:

$$R_{Hij} = 1 - \text{ЛОГНОРМРАСП}(H_i / (a_i \cdot \exp(j \cdot b_i)); 0; \check{G}_{HTi}), \quad (2)$$

де $\text{ЛОГНОРМРАСП}()$ – оператор в табличному редакторі Excel;
 H_i – норматив (3 мг/дм^3);

0 і $\check{G}_{HTi}$ – параметри логнормального розподілу ряду спостережень, нормованого по лінії експоненціального тренду i -го показника.

Результати дослідження

У дослідженні використано офіційні дані спостережень за якістю поверхневих вод річки Дунай у районі міста Кілія, що охоплюють період з 20 березня 2015 року по 7 лютого 2025 року. Джерелом інформації слугувала відкрита платформа моніторингу водних ресурсів України — «Моніторинг та екологічна оцінка водних ресурсів» (<https://monitoring.davr.gov.ua/>), яка адмініструється Державним агентством водних ресурсів України. Основним показником для аналізу обрано біохімічне споживання кисню

протягом п'яти діб (BCK_5), що є ключовим індикатором рівня органічного забруднення води.

На основі наявної вибірки даних спостережень за показником біохімічного споживання кисню протягом п'яти діб (BCK_5), отриманої з платформи моніторингу водних ресурсів України, було побудовано серію графічних представлень динаміки цього параметра для різних часових інтервалів. Зокрема, сформовано окремі графіки для періодів 2015–2024, 2015–2023, 2015–2022 та 2015–2021 років (рис. 1-4).

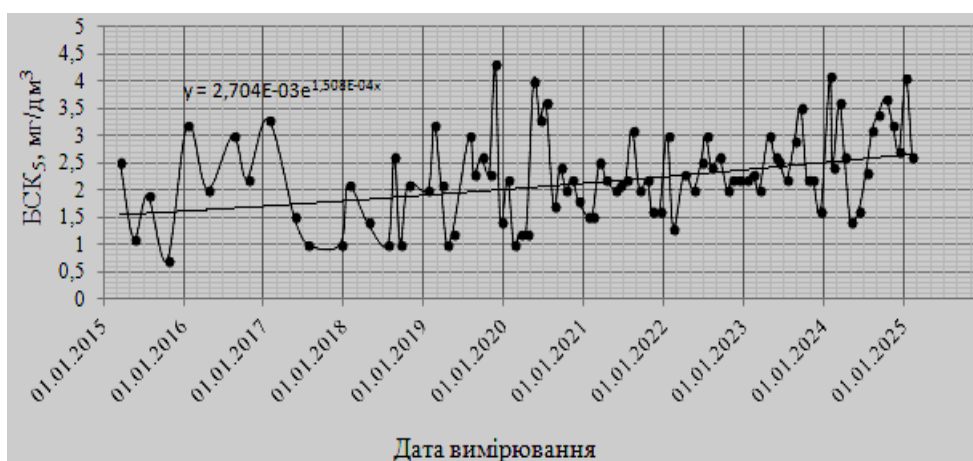


Рис. 1 – Часовий хід значень показника BCK_5 з 2015 по 2025 рр. (р. Дунай, м. Кілія)

Fig. 1 – Time course of BOD_5 indicator values from 2015 to 2025 (Danube River, Kiliya city)

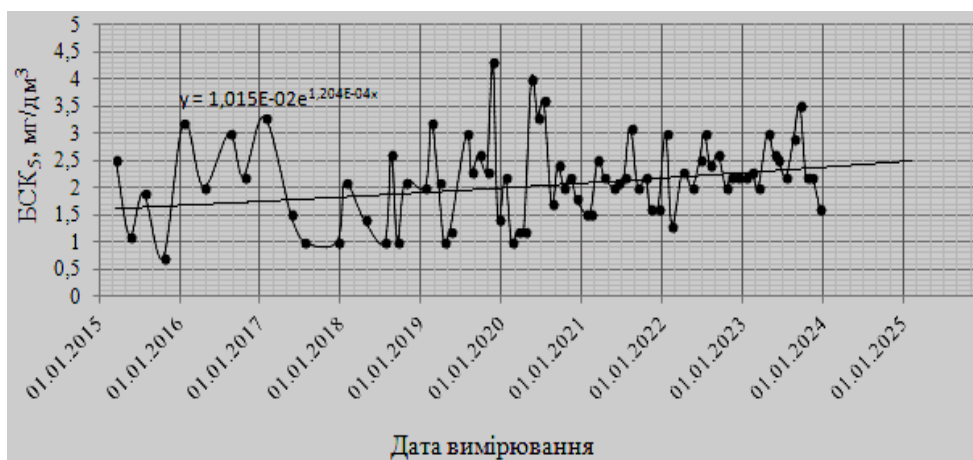


Рис. 2 – Часовий хід значень показника BCK_5 з 2015 по 2024 рр. (р. Дунай, м. Кілія)

Fig. 2 – Time course of BOD_5 indicator values from 2015 to 2024 (Danube River, Kiliya City)

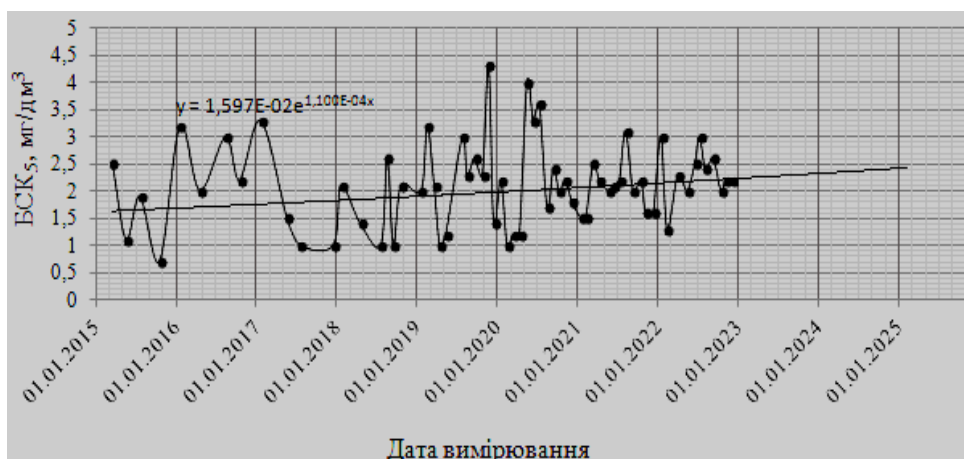


Рис. 3 – Часовий хід значень показника BCK_5 з 2015 по 2023 рр. (р. Дунай, м. Кілія)

Fig. 3 – Time course of BOD_5 indicator values from 2015 to 2023 (Danube River, Kiliya city)

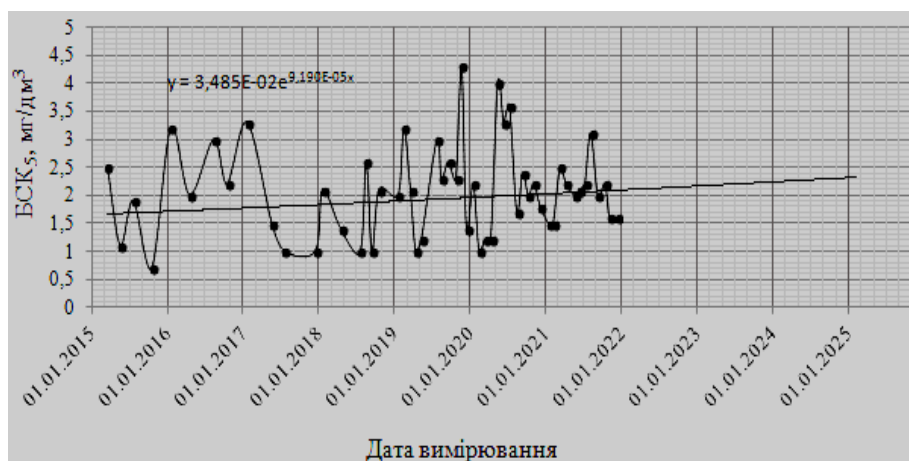


Рис. 4 – Часовий хід значень показника BCK_5 з 2015 по 2022 рр. (р. Дунай, м. Кілія)

Fig. 4 – Time course of BOD_5 indicator values from 2015 to 2022 (Danube River, Kiliya city)

Побудова графіків із поступовим скороченням періоду дослідження дозволяє порівняти стабільність статистичних залежностей у часі та оцінити вплив тривалості вибірки на точність і надійність подальшого прогнозування. Крім того, аналіз даних у розрізі кількох часових відтінків дає змогу виявити потенційні аномалії, сезонні коливання або зміну тенденцій у якості води, зумовлену як природними факторами, так і антропогенним навантаженням. Такий підхід є важливим етапом у підготовці даних до побудови трендових моделей та оцінки прогнозованих значень якості води.

Далі визначено параметри ліній часового тренду за обрані періоди часу; ряди спостережень за ці періоди часу нормовані за лініями їх трендів; визначені параметри логнормального

розподілу нормованих рядів (табл. 1).

Для літніх періодів 2022–2025 років було здійснено розрахунок як фактичних, так і прогнозованих значень показника BCK_5 із забезпеченістю 10% за формулою 1

Прогнозні значення (табл. 2) були отримані за даними попередніх років, водночас кожне прогнозне значення розраховували без урахування відповідного року прогнозу. Наприклад, прогноз на дату 30.06.24 зроблено за спостереженнями 2015–2023 років.

Порівняння між фактичними та прогнозованими значеннями показало прийнятний рівень розбіжності (до 5%), що підтверджує надійність застосованої методики навіть за умов обмеженості та нерегулярності моніторингових даних.

Таблиця 1

Параметри ліній тренду і законів розподілу BCK_5 у водах Дунаю

Table 1

Parameters of trend lines and distribution laws of BOD_5 in the waters of the Danube

Період вибірки	2015-24	2015-23	2015-22	2015-21
a	$2,704 \cdot 10^{-03}$	$1,015 \cdot 10^{-02}$	$1,597 \cdot 10^{-02}$	$3,485 \cdot 10^{-02}$
b	$1,508 \cdot 10^{-04}$	$1,204 \cdot 10^{-04}$	$1,100 \cdot 10^{-04}$	$9,190 \cdot 10^{-05}$
$\check{C}_{HT}$	0,000	0,000	0,000	0,000
$\check{G}_{HT}$	0,3550	0,3606	0,3834	0,4093

Таблиця 2

Розрахункові значення вмісту органічних речовин за показником BCK_5

Table 2

Calculated values of organic matter content by BOD_5

Дата	Значення прогнозне, мг/дм ³	Значення за результатами спостережень, мг/дм ³
30.06.2025	4,28	—
30.06.2024	3,85	4,05
30.06.2023	3,73	3,68
30.06.2022	3,60	3,58

Концентрація органічних речовин у воді річки Дунай, визначена за показником BCK_5 на рівні забезпеченості 10% (відповідно до нормативів ЄС) [], суттєво перевищує граничне значення 3 мг/дм³ і демонструє тенденцію до зростання. Це може бути зумовлено як зростанням обсягів скидання стічних вод, що містять органічні сполуки, так і впливом кліматичних змін, зокрема загального потепління, яке сприяє активному первинному продукуванню та, як наслідок, підвищенню вмісту органіки у природних водах.

Для літніх періодів 2022–2025 років було проведено оцінку як фактичних, так і прогнозованих ризиків погіршення якості води за показником BCK_5 з використанням логнормального підходу згідно з формулою 2.

Прогнозні значення були отримані шляхом апроксимації тренду експоненціальною функцією, побудованою на основі даних попередніх років, при цьому кожне прогнозне значення розраховували окремо — без врахування відповідного року, для якого здійснювався прогноз (табл. 3).

Таблиця 3

Розрахункові рівні ризику погіршення якості води за показником BCK_5

Table 3

Estimated risk levels of water quality deterioration based on BOD_5

Дата	Ризик прогнозований	Ризик за результатами спостережень
30.06.2024	33,2%	27,6%
30.06.2023	23,7%	23,8%
30.06.2022	20,6%	20,1%

Співставлення фактичних і прогнозованих значень засвідчило прийнятний рівень розбіжності (до 17%), що підтверджує достовірність обраного підходу навіть за умов обмеженого та нерегулярного моніторингового забезпечення.

Оцінка ризику погіршення якості вод річки Дунай за показником BCK_5 вказує на перевищення порогового рівня, встановленого нормативами країн ЄС (10%).

Висновки

Запропонований підхід дозволяє здійснювати прогнозування екологічних показників навіть тоді, коли реальні моніторингові дані не відповідають стандартним статистичним вимогам (нерівномірність, відсутність повного ряду, пропуски тощо). Апроксимація лінії тренду дає змогу визначити загальні закономірності зміни показника та спрогнозувати ймовірні значення й ризики.

Встановлено, що концентрація органічних речовин у водах річки Дунай (за показником BCK_5) на рівні забезпеченості 10% стабільно перевищує граничне значення, встановлене нормативами ЄС (3 мг/дм³). Це свідчить про наявність стійкої тенденції до погіршення якості води, що може бути наслідком як зростання антропогенних навантажень, так і змін клімату.

Відповідно до положень Водної рамкової

директиви ЄС, які Україна зобов'язана імплементувати, перевищення гранично допустимих концентрацій не повинне спостерігатися більш ніж у 10% усіх вимірювань. Врахування цього критерію є ключовим у процесі гармонізації українського екологічного законодавства з європейськими стандартами.

Методика прогнозування на основі трендової лінії є дієвим інструментом для екологічного аналізу за умов нерегулярного моніторингу. Вона забезпечує можливість кількісного оцінювання ризиків перевищення нормативів та дозволяє сформулювати обґрунтовані висновки щодо поточного стану і майбутньої динаміки якості вод. Це особливо важливо в умовах імплементції Україною європейських екологічних директив, де на перше місце виходить відповідність кількісним критеріям та інтегрована оцінка водного середовища.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Ismail A.H., Robescu, L.D. Assessment of water quality of the Danube river using water quality indices technique. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2019. Vol. 18. No 8. P. 1727-1737. DOI: <http://dx.doi.org/10.30638/eemj.2019.163>
2. Frincu R. Long-Term Trends in Water Quality Indices in the Lower Danube and Tributaries in Romania (1996–2017). *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Vol.18. No 4. P.1665, DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph18041665>
3. Iticescu C, Georgescu LP, Murariu G, Topa C, Timofti M, Pintilie V, Arseni M. (2019) Lower Danube Water Quality Quantified through WQI and Multivariate Analysis. *Water*. Vol.11. No 6. P.1305. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11061305>
4. Колісник А., Пилип'юк, В. Оцінка екологічного ризику погіршення стану поверхневих вод суббасейну середнього Дніпра в межах Полтавської області. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. № 4. С. 61–69. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-6>
5. Безсонний В.Л., Третяков О.В., Некос А.Н., Чістов Є.В. Прогнозування показників кисневого режиму р. Дунай. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 42. С. 6-23. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-01>
6. Pekarova P., Onderka M., Pekar J., Roncak P., Miklanek P. Prediction of Water Quality in the Danube River Under extreme Hydrological and Temperature Conditions. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 2009. Vol. 57, 3-15. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10098-009-0001-5>
7. Salvai A., Grabic J., Zemunac R., Antonic N. Trend Analysis of Water Quality Parameters in the Middle Part of the Danube Flow in Serbia. *Ecological Chemistry and Engineering S*. 2022. Vol.29. No 1. P. 51-63. DOI: <https://doi.org/10.2478/eces-2022-0006>
8. Georgescu L., Moldovanu S., Iticescu C., Calmuc M. Assessing and forecasting water quality in the Danube River by using neural network approaches. *The Science of the Total Environment*. 2023. Vol.879, 162998. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162998>
9. Vaikunta Rao, Pravin R.K. shirsagar, Kuan Tak Tan, Sivaneasan Bala Krishnan, Shrikant V. Sonekar and Sayali Zade. The Assessment of Water Quality Forecasting Using AI-Based ML Algorithms. *Metallurgical and Materials Engineering*. 2025. Vol.31. No 4. P. 942–961. DOI: <https://doi.org/10.63278/1539>
10. Ooi K.S., Chen Z.Y., Poh P. E., Cui J. BOD5 prediction using machine learning methods. *Water Supply*.

- 2022.Vol.22. No 1. P. 1168–1183. DOI: <https://doi.org/10.2166/ws.2021.202>
11. Kim S., Alizamir M., Seo Y., Heddam S., Chung I. Estimating the incubated river water quality indicator based on machine learning and deep learning paradigms: BOD₅ Prediction. *Mathematical Biosciences and Engineering*. 2022. Vol.19. No 12. P.12744-12773, DOI:<https://doi.org/10.3934/mbe.2022595>
 12. Водний кодекс України. Кодекс України; Закон, Кодекс від 06.06.1995 № 213/95-ВР URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 15.05.2025).
 13. Про охорону навколишнього природного середовища. Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення: 15.05.2025).
 14. Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10). МОЗ України; Наказ, Норми, Правила від 12.05.2010 № 400 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (дата звернення 15.05.2025).
 15. Про встановлення рамок заходів Співтовариства в галузі водної політики. Європарламент, Рада ЄС; Директива, Міжнародний документ від 23.10.2000 № 2000/60/ЄС URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text (дата звернення 15.05.2025).
 16. COUNCIL DIRECTIVE 75/440/EEC of 16 June 1975 concerning the quality required of surface water intended for the abstraction of drinking water in the Member States. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31975L0440&from=en>
 17. COUNCIL DIRECTIVE 76/160/EEC of 8 December 1975 concerning the quality of bathing water. Retrieved from: <http://river.bio.auth.gr/wp-content/uploads/2016/09/Directive-76-160-EEC-Bathing-Water.pdf>
 18. COUNCIL DIRECTIVE 78/659/EEC of 18 July 1978 on the quality of fresh waters needing protection or improvement in order to support fish life. Retrieved from: http://www.cawater-info.net/water_quality_in_ca/files/eu_659-78.pdf
 19. COUNCIL DIRECTIVE 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31998L0083&from=EN>
 20. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Retrieved from: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF
 21. 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. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj>
 22. Юрасов С.М., Терзєман В.В. (2023) Якість вод: оцінка, мінливість, прогноз, нормування. LAP LAMBERT Academic Publishing, URL: <https://www.morebooks.shop/shop-ui/shop/product/9786206846079> (дата звернення: 09.10.2024).
 23. Юрасов С. М., Караулов В. Д., Терзєман В. В. Удосконалення оцінки і прогнозу якості іригаційних вод. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2025. Вип. 43. С. 33 - 46. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-03>

Стаття надійшла до редакції 18.04.2025

Стаття рекомендована до друку 21.05.2025

V. V. TERZEMAN¹,

Postgraduate student of the Department of Environmental Science and Environmental Protection
e-mail: mikkymailz@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-2298-1003>

S. M. YURASOV¹, PhD (Technic), Associate Professor,

Associate Professor of the Department of Environmental Science and Environmental Protection
e-mail: urasen54@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4312-249X>

Odesa I.I. Mechnikov National University
15 Lvivska St., Odesa, 65016, Ukraine

FORECAST OF ORGANIC MATTER CONTENT IN THE WATERS OF THE DANUBE RIVER (KILIA)

Purpose. To assess and forecast the risk of water quality deterioration in the Danube River within the city of Kiliya based on the biochemical oxygen demand (BOD₅) indicator.

Methods. Statistical analysis methods were applied, including the lognormal distribution to estimate the probabilities of exceeding threshold concentrations, and extrapolation of the trend line to forecast the dynamics of the BOD₅ indicator. Data visualization was performed by constructing graphs for various time intervals.

Results. The comparison between actual and forecasted BOD₅ values showed a satisfactory level of discrepancy (up to 17% for risk assessment and up to 5% for actual values), confirming the effectiveness of the chosen approach even under conditions of irregular monitoring data, while taking into account ecological standards and EU Directive requirements. It was found that the concentration of organic substances in the water at the 10% probability level significantly exceeds the ecologically permissible value of 3 mg/dm³ (according to EU standards) and shows a tendency for gradual increase.

Conclusion. The results of the study confirm the effectiveness of the applied approach to water quality forecasting under conditions of irregular monitoring. The use of the lognormal distribution combined with trend line extrapolation allowed for reliable estimations of both the actual state of the water and the probability of exceeding ecologically hazardous concentrations.

KEYWORDS: *Danube, BOD₅, water quality, organic pollution, forecast, lognormal distribution, monitoring, risk*

References

1. Ismail, A.H., & Robescu, L.D. (2019). Assessment of water quality of the Danube river using water quality indices technique. *Environmental Engineering and Management Journal*, 18(8), 1727-1737. <http://dx.doi.org/10.30638/eemj.2019.163>
2. Frincu, R. (2021). Long-Term Trends in Water Quality Indices in the Lower Danube and Tributaries in Romania (1996–2017) *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1665. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph18041665>
3. Iticescu, C., Georgescu, L.P., Murariu, G., Topa, C., Timofti, M., Pintilie, V., & Arseni, M. (2019). Lower Danube Water Quality Quantified through WQI and Multivariate Analysis. *Water*, 11(6):1305. <https://doi.org/10.3390/w11061305>
4. Kolisnyk, A., & Pylpiuk, V. (2022). Assessment of Ecological Risk of Surface Water Quality Deterioration in the Sub-basin of the Middle Dnipro within Poltava Region. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 61-69. <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-6> (in Ukrainian)
5. Bezsonnyi, V. L., Tretyakov, O. V., Nekos, A. N., & Chistov, Ye. V. (2024). Prediction of oxygen regime indicators in Danube river. *Man and Environment. Issues of Neocology*, (42), 6-23. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-01> (in Ukrainian)
6. Pekarova, P., Onderka, M., Pekar, J., Roncak, P., & Miklanek, P. (2009). Prediction of Water Quality in the Danube River Under extreme Hydrological and Temperature Conditions. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 57, 3-15. <https://doi.org/10.2478/v10098-009-0001-5>
7. Salvai, A., Grabic, J., Zemunac, R., & Antonic, N. (2022). Trend Analysis of Water Quality Parameters in the Middle Part of the Danube Flow in Serbia. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 29(1), 51-63. <https://doi.org/10.2478/eces-2022-0006>
8. Georgescu, L., Moldovanu, S., Iticescu, C., & Calmuc, M. (2023). Assessing and forecasting water quality in the Danube River by using neural network approaches. *The Science of the Total Environment*. 879. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162998>
9. Vaikunta, Rao, Pravin, R.K. Shirsagar, Kuan Tak Tan, Sivaneasan Bala Krishnan, Shrikant V. Sonekar & Sayali Zade (2025). The Assessment of Water Quality Forecasting Using AI-Based ML Algorithms. *Metallurgical and Materials Engineering*, 31(4), 942–961. <https://doi.org/10.63278/1539>
10. Ooi, K.S., Chen, Z.Y., Poh, P. E., & Cui, J. (2022). BOD₅ prediction using machine learning methods. *Water Supply*, 22 (1) 1168–1183. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.202>
11. Kim, S., Alizamir, M., Seo, Y., Heddam, S., & Chung, I. (2022). Estimating the incubated river water quality indicator based on machine learning and deep learning paradigms: BOD₅ Prediction. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 19(12), 12744-12773. <https://doi.org/10.3934/mbe.2022595>
12. Water Code of Ukraine. Code of Ukraine; Law, Code dated 06.06.1995 No. 213/95-VR. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text> (Accessed: 15.05.2025) (in Ukrainian).
13. On Environmental Protection. Law of Ukraine dated 25.06.1991 No. 1264-XII. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (Accessed: 15.05.2025) (in Ukrainian).
14. On Approval of the State Sanitary Norms and Rules "Hygienic Requirements for Drinking Water Intended for Human Consumption" (DSanPiN 2.2.4-171-10). Ministry of Health of Ukraine; Order, Norms, Rules dated 12.05.2010 No. 400. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (Accessed: 15.05.2025) (in Ukrainian).
15. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text (Accessed: 15.05.2025) (in Ukrainian)
16. COUNCIL DIRECTIVE 75/440/EEC of 16 June 1975 concerning the quality required of surface water intended for the abstraction of drinking water in the Member States. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/legal->

- [content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31975L0440&from=en](#)
17. COUNCIL DIRECTIVE 76/160/EEC of 8 December 1975 concerning the quality of bathing water. Retrieved from: <http://river.bio.auth.gr/wp-content/uploads/2016/09/Directive-76-160-EEC-Bathing-Water.pdf>
 18. COUNCIL DIRECTIVE 78/659/EEC of 18 July 1978 on the quality of fresh waters needing protection or improvement in order to support fish life. Retrieved from: http://www.cawater-info.net/water_quality_in_ca/files/eu_659-78.pdf
 19. COUNCIL DIRECTIVE 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31998L0083&from=EN>
 20. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Retrieved from: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF
 21. 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. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj>
 22. Yurasov, S.M., & Terzemam, V.V. (2023). Water Quality: Assessment, Variability, Forecasting, Regulation. LAP LAMBERT Academic Publishing, Retrieved from <https://www.morebooks.shop/shop-ui/shop/product/9786206846079> (Accessed: 09.10.2024) (in Ukrainian).
 23. Yurasov, S. M., Karaulov, V.D., & Terzeman, V.V. (2025). Improved assessment and forecasting of irrigation water quality. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (43), 33-46. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-03> (in Ukrainian)

The article was received by the editors 18.04.2025

The article is recommended for printing 21.05.2025

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-05>
УДК(UDK): 504.4.054

Г. О. ЗЛЕНКО,

провідний інженер Південного територіального відділу
Департаменту безпеки руху, охорони праці та екологічної безпеки

e-mail: anna-zlenko@ukr.net

Регіональна філія «Південна залізниця» АТ "Укрзалізниця",

вул. Євгена Котляра, 7, м. Харків, 61052, Україна

М. І. КУЛИК, канд., техн. наук, доц.,

доцент кафедри екології та менеджменту довкілля

e-mail: m.kulyk@karazin.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0605-9367>

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

ВПЛИВ ПІДПРИЄМСТВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ НА СТАН ПОВЕРХНЕВИХ ВОД НА ПРИКЛАДІ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Мета. Визначити вплив підприємства залізничного транспорту на стан поверхневих вод на прикладі річки Лозова Лозівського району Харківської області.

Методи. Індекс забруднення води (ІЗВ), модифікованого індексу забруднення води (ІЗВ мод) та комбінаторного індексу забруднення води (КІЗ).

Результати. Визначено, що відбуваються зміни якості води після скиди стічних вод одного з підприємств залізничного транспорту, спостерігається погіршення якості води в 1,004 раз за середньою величиною ІЗВ та 1,070 раз за середньою величиною модифікованого ІЗВ. За середньою величиною ПКІЗ, навіпаки, відбувається покращення води після скиду у 1,016 раз. На це вплинуло перевищення ГДК за показником завислі речовини у точці до скиду стічних у 2022 р. Якість води річки Лозова за методикою оцінки ІЗВ та модифікованого ІЗВ відноситься до II класу якості води та характеризується як «чиста». За методикою КІЗ вода річки у 2020, 2021 та 2022 роках теж відноситься до II класу якості води, але має характеристику – «забруднена», а у 2023 та 2024 роках вода відноситься до I класу якості води й має характеристику – «слабо забруднена». Гідрохімічні показники, що визначали клас якості води р. Лозова є СПАР, хлориди, фосфати та завислі речовини.

Висновки. Підприємство АТ «Укрзалізниця» не завдає суттєвого впливу на стан якості поверхневих вод річки Лозова Лозівського району Харківської області.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: залізничний транспорт, поверхневі води, індекс забруднення води, комбінаторний індекс забруднення

Як цитувати: Зленко Г. О., Кулик М. І. Вплив підприємств залізничного транспорту на стан поверхневих вод на прикладі Харківської області. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2025. Вип. 32. С. 71 - 88. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-05>

In cites: Zlenko, H. O., Kulyk, M. I. (2025). Influence of railway transport enterprises on the state of surface waters using the example of Kharkiv region. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (32), 71 - 88. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-05> (in Ukrainian)

Вступ

Транспортна галузь займає одне з важливих місць в економіці країни, бо забезпечує перевезення пасажирів та вантажів як внутрішніх, так і зовнішніх рейсах. Україна має розгалужену залізничну мережу, одну з

найбільших у Європі (більше 21 тис. км), а також численні вокзали, станції, пункти пропуску та контролю для міжнародного сполучення. Це створює передумови для надання транспортних послуг та веденню бізнесу.

Так у 2021 році залізничним транспортом перевезено 314,3 млн. т вантажів та вантажообіг становив 180361 млн. т км, а послугами залізничного транспорту скористувалось 81,3 млн. пасажирів. Тож за об'ємом перевезення вантажів залізничний транспорт в Україні займає перше місце серед інших видів транспорту, а кількістю перевезення пасажирів – друге [1, 2].

Відповідно до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року від залізничного транспорту залежить розвиток таких галузей економіки як: будівництво, вугільна промисловість, гірничо-металургійний комплекс, сільське господарство, оборона тощо [3].

На території Харківської області залізничні перевезення забезпечує регіональна філія АТ «Укрзалізниця» – «Південна залізниця», яка обслуговує декілька областей України. В області працюють організації по ремонту та обслуговування як рухомого складу (локомотивні, моторвагонні, вагону-ремонтні та експлуатаційні депо), так й залізничних колій. Слід зазначити, що середній вік локомотивів та електропоїздів становить більше 40 років [2].

Залізничний транспорт більш екологічно чистий ніж автомобільний, але все ж таки має значний вплив на довкілля, але при цьому слід розглядати й вплив інфраструктури залізниці на довкілля [4-8].

До основних видів впливу на довкілля під час провадження господарської діяльності підрозділами АТ «Укрзалізниця» є: викиди забруднюючих речовин до атмосферного повітря від стаціонарних та пересувних джерел; використання поверхневих та підземних вод, скид виробничих й господарсько-побутових стічних вод до водних об'єктів; використання значних площ земель; використання надр для видобування щебеню, піску, глини та ін.; утворення та управління відходами, у тому числі й небезпечними; акустичний вплив від роботи рухомого складу та обладнання; електромагнітне випромінювання; негативний вплив при перевезенні небезпечних та радіоактивних речовин, в тому числі при аварійних забрудненнях.

Дослідження впливу залізничного транспорту на безпеку довкілля розглянуто в роботах різних науковців. В роботах П. В. Босак та інші [4, 9] розглянуто стан діючого

рухомого складу «Укрзалізниці», описано вплив залізничного транспорту на атмосферне повітря, ґрунтовий покрив, особливу увагу приділено аваріям на залізничному транспорті, наведено заходи щодо зниження впливу діяльності залізничного транспорту на довкілля, наголошено на необхідності оновлення рухомого складу залізниці.

Пилипчук О. Я зі співавторами [5] досліджували забруднення ґрунту нафтопродуктами, які використовує залізничний транспорт, запропоновано шляхи очищення ґрунту від нафтопродуктів.

У роботі У. В. Антонюка [6] проаналізовано вплив залізничного транспорту на різні компоненти довкілля, наголошено на важливості правового регулювання відносин щодо природокористування та забезпечення екологічної безпеки залізничного транспорту задля зменшення його впливу на довкілля.

У роботі [10] показано вплив залізничного транспорту та його інфраструктури на довкілля та наголошено на необхідності впровадження принципів ресурсозбереження та екологічної безпеки особливо в умовах Євроінтеграції й згідно з затвердженою Національною транспортною стратегією України на період до 2030 року [3].

Запорожець О. І., та інші [8] окремий розділ присвятили впливу залізничного транспорту на навколишнє середовище. У зазначеному розділі розглянуто загальні питання залізничного сектора України та особливу увагу приділено впливу на довкілля як рухомого складу залізничного транспорту так і стаціонарних джерел. Окремим пунктом виділено утворення стічних вод на підприємствах залізничного транспорту.

У роботі [11] розглянуто негативний вплив залізничного транспорту на різні компоненти довкілля (атмосферне повітря, водні ресурси, ґрунтовий покрив, а також шумове забруднення), наведено можливі шляхи вдосконалення.

У статті В. Г. Лоза та інші [7] розглянуто вплив залізничного транспорту на стійкість природних ландшафтів, атмосферне повітря, ґрунт, водойми. Окремо розглянуто питання шумового забруднення. У роботі наведено заходи щодо зменшення негативного залізничного транспорту на стан навколишнього середовища.

Проблема екологічної безпеки залізничного транспорту є предметом досліджень й закордонних науковців. Розглядається управління ризиками залізничної інфраструктури в гірських умовах, зосереджуючись на досвіді австрійського залізничного оператора [12],

Надається огляд інноваційних трендів та викликів, з якими стикається залізничний сектор Словаччини [13], досліджується довгостроковий вплив залізничної інфраструктури на забруднення повітря, аналізуючи розширення залізничної мережі Японії протягом 25-річного періоду [14], Представлено нову методологію для оцінки та підвищення екологічної сталості міських залізничних станцій в роботі [15].

В багатьох технологічних процесах господарської діяльності об'єктів інфраструктури залізниці використовується вода. Так, Державним агентством водних ресурсів України видано АТ «Укрзалізниця» єдиний Дозвіл на спеціальне водокористування по Харківській області з зазначенням 101 фактичного місця здійснення діяльності підрозділами залізниці (51 щодо водозабору та 50 щодо водовідведення). Згідно з Дозволом підприємства залізничного транспорту здійснюють скид забруднюючих речовин із зворотними (стічними) водами у поверхневі водні об'єкти [16].

Під час використання на підприємствах вода забруднюється та переходить в розряд стічних. Основними забруднювачами

стічних вод є: завислі речовини, сульфати, хлориди, фосфати, азотовмісні речовини, нафтопродукти. Слід зазначити, що перед скидом стічні води проходять різні стадії очистки (механічне, біологічне, доочистка та знезараження) та здійснюється контроль якості.

Харківська область має доволі низьку (1,8 % від загальних водних ресурсів України) забезпеченість водними ресурсами [2]. Дослідженням якості поверхневих водних об'єктів Харківської області присвячено багато праць. В межах Харківської області визначення екологічного стану річки Сіверський Донець надано в роботах [17-20], прогнозування якості води за допомогою геоінформаційних технологій [21], охорона поверхневих джерел водопостачання від антропогенного впливу [22], та екологічна безпека вод у басейні Сіверського Дінця [23]. Також надано дослідження еколого-токсикологічної оцінки якості води річки Лопань в межах Дергачівського району Харківської області [24], гідрохімічного аналізу поверхневих вод річки Оскіл [25], визначення екологічних нормативів для басейну річки Уди в межах Харківської області [26] та інше.

Проблема якості поверхневих вод доволі актуальна не лише в Україні [27-30].

Мета роботи – визначити вплив одного з підприємств залізничного транспорту на стан поверхневих вод на прикладі річки Лозова Лозівського району Харківської області на основі визначення індексів якості води.

Об'єкти та методи дослідження

Підприємство АТ «Укрзалізниця» здійснює скид очищених зворотних вод у річку Лозова у межах Лозівського району Харківської області.

Річка Лозова протікає на території Лозівського району Харківської області, є лівою притокою річки Бритаї (басейн Сіверського Донця). Вона має довжину 13 км, площа басейну 87, 9 км² [31, 32].

Для визначення якості води в річці Лозова використано дані Моніторингу якості вод у період з 2020 по перше півріччя 2024 року, проведені Центральною заводською лабораторією підприємства. Контроль показників якості води у річці проводився три рази на місяць поблизу села Катеринівка у

двох створах (рис. 1): точка 1 – 500 м вище за течією від скидання стічних вод підприємства; точка 2 – 500 м нижче за течією від скидання стічних вод підприємства.

При оцінці якості поверхневих вод р. Лозова використано наступні методи: індексу забруднення води (ІЗВ), модифікованого індексу забруднення води (ІЗВ мод) та комбінованого індексу забруднення води (КІЗ). В якості критеріїв якості води взято величини гранично допустимої концентрації (ГДК) для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення [33].

При визначенні індексу забруднення води використовують шість показників розчинений кисень, біологічне споживання

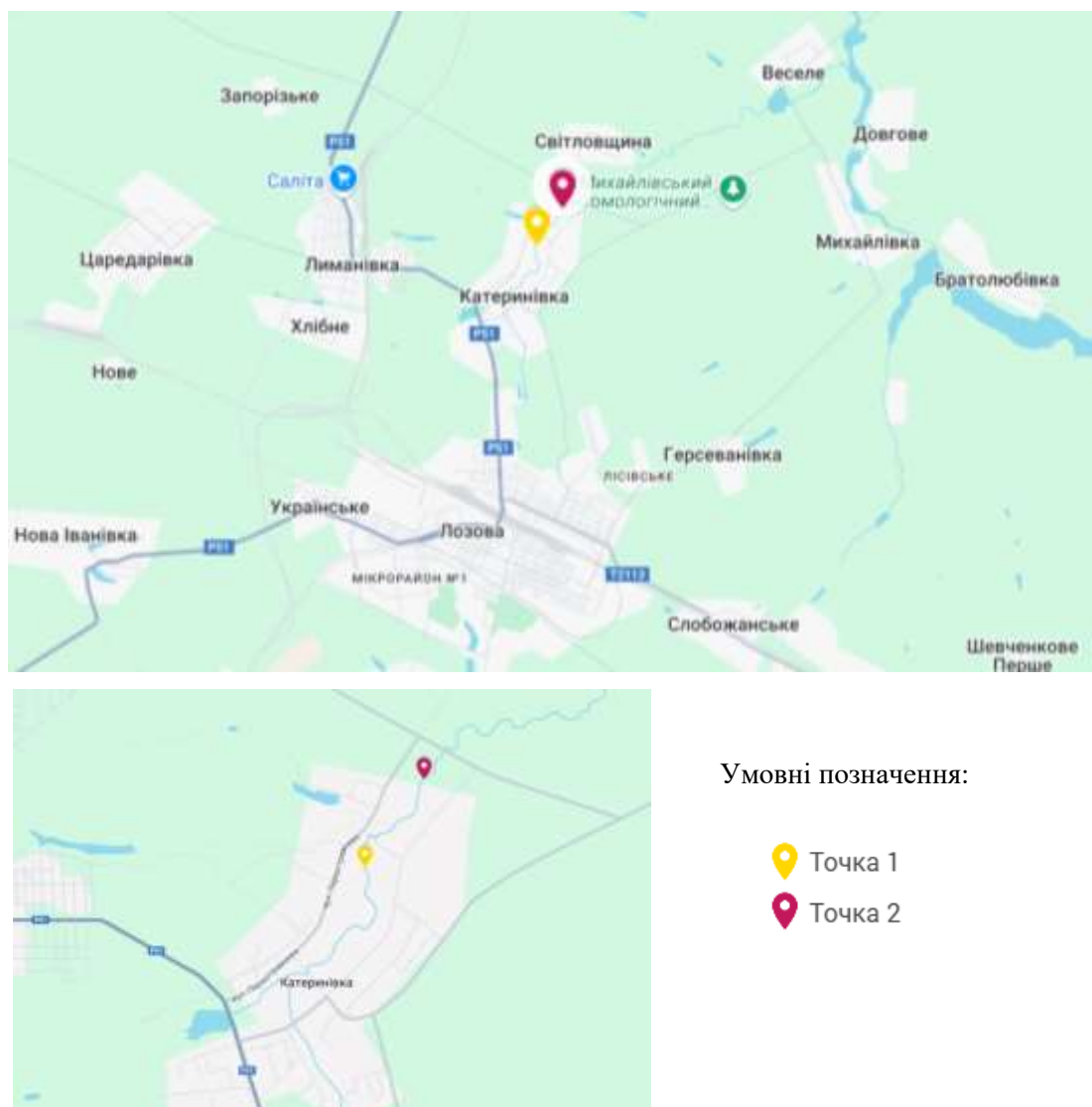


Рис. 1 – Карто-схема пунктів контролю якості води на річці Лозова
Лозівського району Харківської області

Fig. 1 – Map-scheme of water quality control points on the Lozova River in
the Lozova district of the Kharkiv region

кисню за п'ять днів (БСК₅), азот амонійний, нітроти, нафтопродукти, феноли. При визначенні модифікованого ІЗВ обов'язково використовують показники розчинений кисень та БСК₅, а інші чотири обирають за найбільшим відношенням до ГДК [24, 34, 35, 36]. Для розрахунку індексів використовують формулу:

$$\text{ІЗВ} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ГДК}_i}, \quad (1)$$

де C_i – середнє арифметичне значення концентрації i -го показника якості води;

ГДК_i – гранично допустима концентрація i -го показника.

Оцінка якості води за даними методами визначається величиною індексу й здійснюється за класами: I клас якості води $\text{ІЗВ} \leq 0,30$ та характеризується як «дуже чиста»; II клас – $\text{ІЗВ} = 0,31 - 1,00$, «чиста»; III клас – $\text{ІЗВ} = 1,01 - 2,50$, «помірно забруднена»; IV клас – $\text{ІЗВ} = 2,51 - 4,00$, «забруднена»; V клас – $\text{ІЗВ} = 4,01 - 6,00$, «брудна»; VI клас – $\text{ІЗВ} = 6,01 - 10,00$, «дуже брудна»; VII клас – $\text{ІЗВ} > 10,00$, «надзвичайно брудна» [24, 34, 35, 36].

Визначення комбінаторного індексу забруднення води проводиться у декілька етапів [24, 34, 35, 36]. Під час першого ступеня класифікації встановлюється міра стійкості забруднення (P_i), яку розраховують за формулою:

$$P_i = \frac{N_{ГДК_i}}{N_i}, \quad (2)$$

де $N_{ГДК_i}$ – кількість результатів аналізу i -го показника якості води, значення концентрації якого перевищує ГДК;

N_i – загальна кількість результатів аналізу i -го показника якості води.

Під час другого ступеня класифікації встановлюється рівень забруднення, який за кратністю перевищення ГДК (K_i) й розраховується за формулою:

$$K_i = \frac{C_i}{ГДК_i}. \quad (3)$$

За величинами повторюваності та кратності згідно з таблицями класифікації визначаються оціночні бали (від 1 до 4) та характеристика забруднення щодо повторюваності відповідно «одиначне», «нестійке», «стійке» та «характерне», а щодо кратності «низьке», «середнє», «високе» та «дуже високе».

Розраховуються узагальнені оцінки якості води за кожним показником (S_i) й визначається характеристика якості води: «слабо забруднена», «забруднена», «брудна», «дуже брудна» та «неприпустимо брудна». При величині узагальненого оціночного балу 11 або більше, то даний показник відносять до лімітуючих показників забруднення (ЛПЗ).

Під час третього ступеня класифікації розраховується величина КІЗ, сумуванням оціночних балів (S_i) усіх n показників.

$$КІЗ = \sum_{i=1}^n S_i. \quad (4)$$

Потім розраховується питомий комбінаторний індекс забруднення (ПКІЗ), середнє значення КІЗ. На останньому ступені класифікація якості води в залежності від ПКІЗ та кількості ЛПЗ визначається клас (від I до IV), розряд (а, б, в, г), характеристика забрудненості води («слабо забруднена», «забруднена», «брудна», «дуже брудна» та «неприпустимо брудна») й робиться висновок щодо придатності води для певного виду водокористування. етапів [24, 34, 35, 36].

Результати та обговорення

Аналіз якості води в річці Лозова проводився за даними результатів моніторингу вод та включав середньорічні величини таких показників: водневий показник, завислі речовини, сульфати, хлориди, фосфати, сухий залишок, розчинений кисень, БСК₅, хімічне споживання кисню (ХСК), азот амонійний, нітрити, нітрати, нафтопродукти, синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), залізо, фенол [32].

Порівнюючи гідрохімічні показники з ГДК виявлено наступні перевищення: СПАР у обох точках дослідження у 2020, 2021 та 2022 роках у 1,09 – 1,12 раз; хлориди у обох точках у 2020 та 2021 роках у 1,20 раз; фосфати у обох точках у 2021 році у 1,16 раз; завислі речовини у точці 1 (до скиду) у 2022 році у 1,60 раз.

Аналізуючи результати розрахунків ІЗВ за формулою (1) у р. Лозова (рис. 2) можемо побачити, що величина індексу немає значних змін та коливається у точці 1 (до скиду стічних вод) від 0,456 у 2024 р. до 0,487 у 2021 р., а у точці 2 (після скиду

стічних вод) від 0,463 у 2024 р. до 0,502 у 2021 р. Найвищі значення ІЗВ зафіксовано у обох точках у 2021 році, а найнижчі у 2024 році. Загалом за весь період спостереження вода відноситься до II класу якості та характеризується як «чиста».

Аналізуючи результати розрахунків модифікованого ІЗВ за формулою (1) у р. Лозова (рис. 2) можемо побачити, що величина індексу немає суттєвих змін та коливається у точці 1 (до скиду стічних вод) від 0,639 у 2023 р. до 0,938 у 2021 р., а у точці 2 (після скиду стічних вод) від 0,786 у 2023 р. до 0,942 у 2021 р. Найвищі значення модифікованого ІЗВ зафіксовано у обох точках у 2021 році, а найнижчі у 2023 році. Загалом за весь період спостереження вода відноситься до II класу якості та характеризується як «чиста». Слід зазначити, що величини модифікованого ІЗВ дещо вищі від звичайного ІЗВ, в середньому у 1,72 раз.

Аналізуючи якість води у р. Лозова у 2020 р. за методом комбінаторного індексу (табл. 1) можна сказати, що виявлено перевищення ГДК за показниками СПАР та

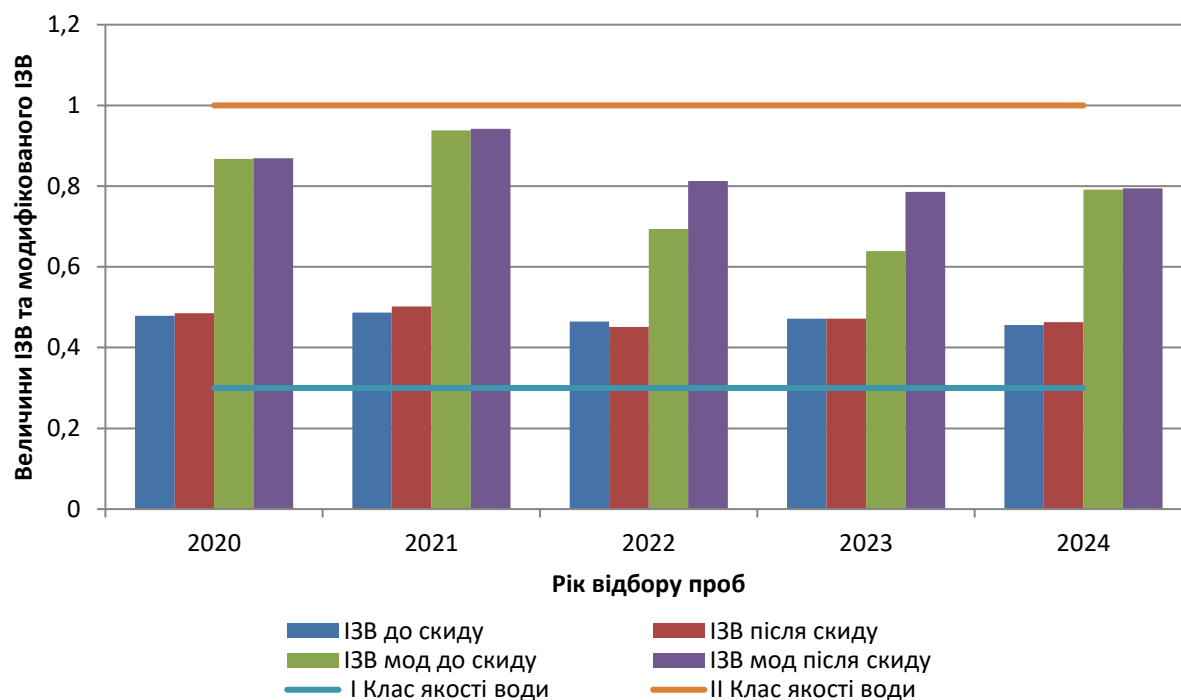


Рис. 2 – Динаміка індексів забруднення води у р. Лозова
Fig. 2 – Dynamics of water pollution indices in the Lozova River

хлориди у обох точках дослідження про це свідчить розраховані величини повторюваності перевищення (P_i) та кратності перевищення (K_i). Далі для кожного показника визначено часткові оціночні бали та проведено класифікацію за стійкістю й рівня забруднення. Потім розраховано узагальнені оцінки якості води (S_i), також за кожним показником, й встановлено характеристику якості води. За показниками хлоридів та СПАР характеристика якості води визначена як «брудна» («характерна забрудненість низького рівня»), а інші показники, що досліджувались віднесено до «слабо забруднених» («одиначна забрудненість низького рівня»). Жодний з показників не відноситься до лімітуючого показника забруднення.

На наступному етапі класифікації вод розраховано величину комбінаторного індексу забруднення, яка для двох точок дорівнює 21. Далі визначено величину питомого комбінаторного індексу, яка дорівнює 1,4, та встановлено, що вода відноситься до II класу якості води й має характеристику забруднення води – «забруднена».

Аналізуючи якість води у р. Лозова у 2021 р. за методом комбінаторного індексу (табл. 2) можна сказати, що виявлено перевищення ГДК за показниками СПАР,

хлориди та фосфати у обох точках дослідження про це свідчить розраховані величини повторюваності перевищення (P_i) та кратності перевищення (K_i). Далі для кожного показника визначено часткові оціночні бали та проведено класифікацію за стійкістю й рівня забруднення. Потім розраховано узагальнені оцінки якості води (S_i), також за кожним показником, й встановлено характеристику якості води. За показниками хлоридів, СПАР та фосфати характеристика якості води визначена як «брудна» («характерна забрудненість низького рівня»), а інші показники, що досліджувались віднесено до «слабо забруднених» («одиначна забрудненість низького рівня»). Жодний з показників не відноситься до лімітуючого показника забруднення.

На наступному етапі класифікації вод розраховано величину комбінаторного індексу забруднення, яка для двох точок дорівнює 24. Далі визначено величину питомого комбінаторного індексу, яка дорівнює 1,6, та встановлено, що вода відноситься до II класу якості води й має характеристику забруднення води – «забруднена».

З аналізу якості води у р. Лозова у 2022 р. за методом комбінаторного індексу (табл. 3) виявлено перевищення ГДК за показниками

Таблиця 1

Результати оцінки якості води р. Лозова за методом КІЗ у 2020 році

Table 1

Results of water quality assessment of the Lozova River using the CIP method in 2020

Показник	Р _i		Бали		К _i		Бали		S _i , бал		Характеристика		ЛПЗ	
	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після
Водневий показник	0	0	1	1	0,882	0,882	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Завислі речовини	0	0	1	1	0,667	0,680	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Сульфати	0	0	1	1	0,941	0,943	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Хлориди	1	1	4	4	1,198	1,199	1	1	4	4	брудна		0	0
Сухий залишок	0	0	1	1	0,995	0,996	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Розчинений кисень	0	0	1	1	0,787	0,787	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Б С К ₅	0	0	1	1	0,373	0,373	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Азот амонійний	0	0	1	1	0,740	0,745	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Нітрити	0	0	1	1	0,206	0,207	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Нітрати	0	0	1	1	0,483	0,483	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Нафто-продукти	0	0	1	1	0,767	0,800	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
С П А Р	1	1	4	4	1,100	1,108	1	1	4	4	брудна		0	0
Фосфати	0	0	1	1	0,846	0,849	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Х С К	0	0	1	1	0,577	0,593	1	1	1	1	слабо з абруднена		0	0
Залізо	0	0	1	1	0,900	0,900	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
$KI3 = \sum_{i=1}^n S_i$									21	21			0	0
До скиду КІЗ = 21, ПКІЗ = 1,4, 0 ЛПЗ (клас II, «забруднена»)														
Після скиду КІЗ = 21, ПКІЗ = 1,4, 0 ЛПЗ (клас II, «забруднена»)														

(

Таблиця 2

Результати оцінки якості води р. Лозова за методом КІЗ у 2021 році

Table 2

Results of water quality assessment of the Lozova River using the CIP method in 2021

Показник	Р _i		Бали		К _i		Бали		S _i , бал		Характеристика		ЛПЗ	
	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після
Водневий показник	0	0	1	1	0,894	0,894	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Завислі речовини	0	0	1	1	0,667	0,673	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Сульфати	0	0	1	1	0,915	0,924	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Хлориди	1	1	4	4	1,198	1,202	1	1	4	4	брудна		0	0
Сухий залишок	0	0	1	1	0,995	0,997	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Розчинений кисень	0	0	1	1	0,789	0,786	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Б С К ₅	0	0	1	1	0,447	0,453	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Азот амонійний	0	0	1	1	0,770	0,790	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Нітрити	0	0	1	1	0,217	0,217	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Нітрати	0	0	1	1	0,480	0,480	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Нафто-продукти	0	0	1	1	0,700	0,767	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
С П А Р	1	1	4	4	1,092	1,100	1	1	4	4	брудна		0	0
Фосфати	1	1	4	4	1,157	1,160	1	1	4	4	брудна		0	0
Х С К	0	0	1	1	0,593	0,610	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Залізо	0	0	1	1	0,947	0,950	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
$KIZ = \sum_{i=1}^n S_i$									24	24			0	0
До скиду KIZ = 24, ПКІЗ = 1,6, 0 ЛПЗ (клас II, «забруднена»)														
Після скиду KIZ = 24, ПКІЗ = 1,6, 0 ЛПЗ (клас II, «забруднена»)														

Таблиця 3

Результати оцінки якості води р. Лозова за методом КІЗ у 2022 році

Table 3

Results of water quality assessment of the Lozova River using the CIP method in 2022

Показник	Р _i		Бали		К _i		Бали		S _i , бал		Характеристика		ЛПЗ	
	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після
Водневий показник	0	0	1	1	0,906	0,882	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Завислі речовини	0,8	0,5	4	3	1,600	0,700	1	1	4	3	брудна		0	0
Сульфати	0	0	1	1	0,835	0,833	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Хлориди	0	0	1	1	0,961	0,964	1	1	4	4	брудна		0	0
Сухий залишок	0	0	1	1	0,950	0,861	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Розчинений кисень	0	0	1	1	0,784	1,300	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Б С К ₅	0	0	1	1	0,427	0,330	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Азот амонійний	0	0	1	1	0,695	0,685	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Нітрити	0	0	1	1	0,183	0,187	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Нітрати	0	0	1	1	0,468	0,468	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Нафто-продукти	0	0	1	1	0,700	0,733	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
С П А Р	1	1	4	4	1,117	1,017	1	1	4	4	брудна		0	0
Фосфати	0	0	1	1	0,975	1,000	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Х С К	0	0	1	1	0,750	0,547	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Залізо	0	0	1	1	0,860	0,797	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
$KIZ = \sum_{i=1}^n S_i$									21	20			0	0
До скиду КІЗ = 21, ПКІЗ = 1,4, 0 ЛПЗ (клас II, «забруднена»)														
Після скиду КІЗ = 20, ПКІЗ = 1,3, 0 ЛПЗ (клас II, «забруднена»)														

СПАР у обох точках дослідження та завислі речовини у точці до скиду стічних вод про це свідчить розраховані величини повторюваності перевищення (Р_i) та кратності перевищення (К_i). Далі для кожного показника визначено часткові оціночні бали та проведено класифікацію за стійкістю й рівня забруднення. Потім розраховано узагальнені оцінки якості води

S_i), також за кожним показником, й встановлено характеристику якості води. За

показником СПАР у обох точках характеристика якості води визначена як «брудна» («характерна забрудненість низького рівня»). За показником завислі речовини у точці до скиду характеристика якості води визначена як «брудна» («характерна забрудненість низького рівня»), а у точці після скиду характеристика якості води визначена як «брудна» («стійка забрудненість низького рівня»). Інші показники, що досліджувались віднесено до «слабо забруднених»

(«одиночна забрудненість низького рівня»). Жодний з показників не відноситься до лімітуючого показника забруднення.

На наступному етапі класифікації вод розраховано величину комбінаторного індексу забруднення, яка для точки до скиду дорівнює 21, а для точки після скиду – 20. Далі визначено величину питомого комбінаторного індексу, яка для точки до скиду дорівнює 1,4, а для точки після скиду – 1,3. Встановлено, що вода в обох точках відноситься

до II класу якості води й має характеристику забруднення води – «забруднена».

Аналізуючи якість води у р. Лозова у 2023 р. за методом комбінаторного індексу (табл. 4) можна сказати, що перевищення ГДК не виявлено за усіма показниками у обох точках дослідження про це свідчить розраховані величини повторюваності перевищення (P_i) та кратності перевищення (K_i).

Таблиця 4

Результати оцінки якості води р. Лозова за методом КІЗ у 2023 році

Table 4

Results of water quality assessment of the Lozova River using the CIP method in 2023

Показник	P_i		Бали		K_i		Бали		S_i , бал		Характеристика		ЛПЗ	
	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після
Водневий показник	0	0	1	1	0,906	0,906	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Завислі речовини	0	0	1	1	0,893	0,927	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Сульфати	0	0	1	1	0,838	0,839	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Хлориди	0	0	1	1	0,908	0,909	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Сухий залишок	0	0	1	1	0,975	0,975	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Розчинений кисень	0	0	1	1	0,784	0,777	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Б С K_5	0	0	1	1	0,407	0,373	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Азот амонійний	0	0	1	1	0,695	0,700	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Нітрити	0	0	1	1	0,212	0,212	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Нітрати	0	0	1	1	0,469	0,469	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Нафто-продукти	0	0	1	1	0,733	0,767	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
С П А Р	0	0	1	1	0,875	0,883	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Фосфати	0	0	1	1	0,907	0,910	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Х С К	0	0	1	1	0,760	0,760	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Залізо	0	0	1	1	0,860	0,863	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
$KIZ = \sum_{i=1}^n S_i$									15	15			0	0
До скиду $KIZ = 15$, $PKIZ = 1,0$, 0 ЛПЗ (клас I, «слабо забруднена»)														
Після скиду $KIZ = 15$, $PKIZ = 1,0$, 0 ЛПЗ (клас I, «слабо забруднена»)														

Далі для кожного показника визначено часткові оціночні бали та проведено класифікацію за стійкістю й рівня забруднення. Потім розраховано узагальнені оцінки якості води (S_i), також за кожним показником, й встановлено характеристику якості води. Для всіх показників, що досліджувались характеристика якості води визначена як «слабо забруднена» («одиначна забрудненість низького рівня»).

Жодний з показників не відноситься до наступному етапі класифікації вод розраховано величину комбінаторного індексу забруднення, яка для двох точок дорівнює 15. Далі визначено величину питомого комбінаторного індексу, яка дорівнює 1,0, та встановлено, що вода відноситься до I класу якості води й має лімітуючого показника забруднення. На характеристику забруднення води – «слабо забруднена».

Таблиця 5

Результати оцінки якості води р. Лозова за методом КІЗ у 2024 році

Table 5

Results of water quality assessment of the Lozova River using the CIP method in 2024

Показник	Р _i		Бали		К _i		Бали		S _i , бал		Характеристика		ЛПЗ	
	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після	До	Після
Водневий показник	0	0	1	1	0,882	0,882	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Завислі речовини	0	0	1	1	0,913	0,920	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Сульфати	0	0	1	1	0,844	0,846	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Хлориди	0	0	1	1	0,992	0,996	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Сухий залишок	0	0	1	1	0,963	0,964	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Розчинений кисень	0	0	1	1	0,791	0,789	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Б С К ₅	0	0	1	1	0,374	0,375	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Азот амонійний	0	0	1	1	0,700	0,705	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Нітрити	0	0	1	1	0,173	0,173	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Нітрати	0	0	1	1	0,458	0,458	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Нафто-продукти	0	0	1	1	0,700	0,733	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
С П А Р	0	0	1	1	0,867	0,875	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Фосфати	0	0	1	1	0,893	0,896	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Х С К	0	0	1	1	0,703	0,706	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
Залізо	0	0	1	1	0,833	0,833	1	1	1	1	слабо забруднена		0	0
$KI3 = \sum_{i=1}^n S_i$									15	15			0	0
До скиду КІЗ = 15, ПКІЗ = 1,0, 0 ЛПЗ (клас I, «слабо забруднена»)														
Після скиду КІЗ = 15, ПКІЗ = 1,0, 0 ЛПЗ (клас I, «слабо забруднена»)														

Аналізуючи якість води у р. Лозова за першу половину 2024 р. за методом комбінаторного індексу (табл. 5) можна сказати, що перевищення ГДК не виявлено за усіма показниками у обох точках дослідження про це свідчить розраховані величини повторюваності перевищення (P_i) та кратності перевищення (K_i). Далі для кожного показника визначено часткові оціночні бали та проведено класифікацію за стійкістю й рівня забруднення. Потім розраховано узагальнені оцінки якості води (S_i), також за кожним показником, й встановлено характеристику якості води. Для всіх показників, що досліджувались характеристика якості води визначена як «слабо забруднена» («одиначна забрудненість низького рівня»). Жодний з показників не відноситься до лімітуючого показника забруднення.

На наступному етапі класифікації вод розраховано величину комбінаторного індексу забруднення, яка для двох точок дорівнює 15. Далі визначено величину питомого комбінаторного індексу, яка дорівнює 1,0, та встановлено, що вода відноситься до I класу якості води й має характеристику забруднення води – «слабо забруднена».

Аналізуючи результати визначення питомого комбінаторного індексу забруднення води за період з 2020 р. по перше півріччя 2024 р. у р. Лозова (рис. 3) можемо побачити, що величина індексу немає значних змін та коливається у обох точках від 1,0 у 2023 та 2024 роках до 1,6 у 2021 році. У 2020, 2021 та 2022 роках вода в обох точках відноситься до II класу якості води й має характеристику забруднення води – «забруднена», а у 2023 та 2024 роках теж в обох точках вода відноситься до I

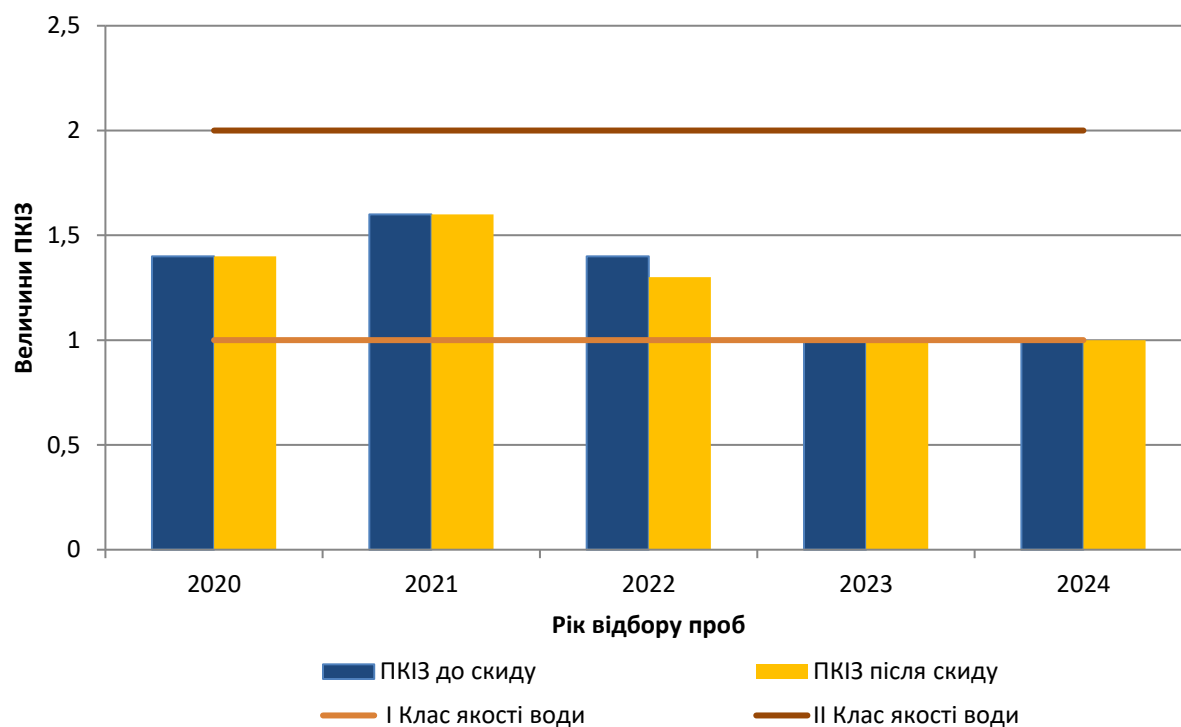


Рис. 3 – Динаміка питомого комбінаторного індексу забруднення води у р. Лозова
Fig. 3 – Dynamics the specific combinatorial index of water pollution in the Lozova River

класу якості води й має характеристику забруднення води – «слабо забруднена».

Результати дослідження (рис. 4) зміни якості води у двох точках спостереження (до скиду стічних вод та після) за середніми значеннями за весь період спостереження за трьома індексами визначають, що клас якості води за всіма трьома індексами не

змінюється після скиду стічних вод підприємства. Аналізуючи зміни якості води річки на основі індексу забруднення води можна побачити незначне погіршення води після скиду стічних вод у 1,004 раз. Аналізуючи зміни якості води річки на основі модифікованого індексу забруднення води можна побачити незначне погіршення води після

скиду стічних вод у 1,070 раз. Аналізуючи зміни якості води річки на основі питомого комбінаторного індексу забруднення води можна побачити незначне покращення води

після скиду стічних вод у 1,016 раз. На це вплинуло перевищення ГДК за показником завислі речовини у точці до скиду стічних у 2022 р.

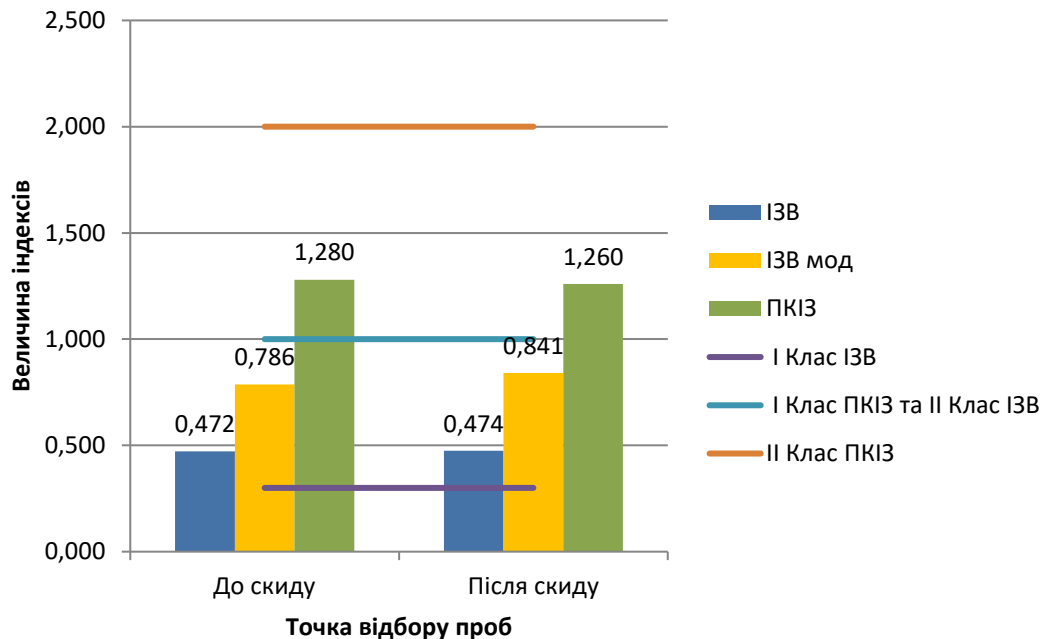


Рис. 4 – Величини індексів вздовж водотоку річки Лозова
Fig. 4 – Index values along watercourse the Lozova River

Якість води річки Лозова у межах села Катеринівка Лозівського району Харківської області за період з 2020 року по перше півріччя 2024 року за методикою оцінки I3B та модифікованого I3B відноситься до II класу якості води та характеризується як

«чиста». За методикою KI3 вода річки у 2020, 2021 та 2022 роках теж відноситься до II класу якості води, але має характеристику – «забруднена», а у 2023 та 2024 роках вода відноситься до I класу якості води й має характеристику – «слабо забруднена».

Висновки

Проведено оцінку якості води річки Лозова у межах села Катеринівка Лозівського району Харківської області за період з 2020 року по перше півріччя 2024 року за трьома методами, а саме індексу забруднення води, модифікованого індексу забруднення та комбінаторного індексу забруднення води. Для оцінки якості води використано гігієнічні нормативи водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення.

Визначено, що відбуваються зміни якості води після скиду стічних вод одного з підприємств залізничного транспорту, спостерігається погіршення якості води в 1,004

раз за середньою величиною I3B та 1,070 раз за середньою величиною модифікованого I3B. За середньою величиною PKI3, навпаки, відбувається покращення води після скиду у 1,016 раз. На це вплинуло перевищення ГДК за показником завислі речовини у точці до скиду стічних у 2022 р. Отже, одне з підприємств АТ «Укрзалізниця» не завдає суттєвого впливу на стан якості поверхневих вод річки Лозова Лозівського району Харківської області.

Якість води річки Лозова за методикою оцінки I3B та модифікованого I3B відноситься до II класу якості води та характеризується як «чиста». За методикою KI3

вода річки у 2020, 2021 та 2022 роках теж відноситься до II класу якості води, але має характеристику – «забруднена», а у 2023 та 2024 роках вода відноситься до I класу якості води й має характеристику – «слабо забруднена». Слід зазначити, що у 2021 році

якість води була найгірша, оскільки фіксуються найбільші показники індексів: ІЗВ – 0,502, модифікований ІЗВ – 0,942 та ПКІЗ – 1,6. Гідрохімічні показники, що визначали клас якості води р. Лозова є СПАР, хлориди, фосфати та завислі речовини.

Конфлікт інтересів

Автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів. Крім того, автори дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища України у 2021 році. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Київ: 2022. 514 с. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf>
2. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Харківській області у 2023 році. Харків : 2024. 160 с. URL: https://kharkivoda.gov.ua/content/documents/1285/128411/Attaches/regionalna_dopovid_2023_harkiv.pdf
3. Про схвалення Національної стратегії України на період до 2023 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 № 430-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>
4. Босак П. В., Лук'янчук Н. Г., Попович В. В. Чинники впливу залізничного транспорту на екологічну безпеку довкілля. *Екологічні науки*. 2022. № 3 (42). 205-210. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.34> <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2022/3/34.pdf>
5. Пилипчук О. Я., Висоцька Т. І., Пічкур, Т. В. Вплив залізничного транспорту на навколишнє середовище: Проблеми очищення ґрунту від нафтопродуктів. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. 2020. № 3 (30). 113-118. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.19>
6. Антонюк У. В. Сучасний стан і перспективи забезпечення екологічної безпеки у сфері залізничного транспорту в Україні. *Актуальні проблеми держави та права*. 259-266. URL: <http://www.apdp.in.ua/v64/37.pdf>
7. Лоза В. Г., Кухлівський С. В., Косенко Б. Я., Підскребаєв О. М. Способи захисту навколишнього середовища на транспорті України. URL: <http://stp.diit.edu.ua/article/download/14393/12208>
8. Транспортна екологія : навчальний посібник. О. І. Запорожець та ін. / за загал. ред. С. В. Бойченка. Київ : НАУ. 2017. 507 с.
9. Попович В. В., Босак П. В. Вплив залізничного транспорту на стан довкілля України. Охорона праці: освіта і практика. Проблеми та перспективи розвитку охорони праці: Зб. наук. праць II Всеукраїнської науково-практичної конференції викладачів та фахівців-практиків та XII Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, аспірантів та ад'юнктів. Львів: ЛДУ БЖД, 2022. 75-76. URL: https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/10208/1/conference_collection_of_materials_compressed.pdf
10. Калимбет М. В., Зеленько Ю. В. Концепції щодо впровадження екологічно чистих та ресурсозберігаючих технологій експлуатації залізничного транспорту. Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту : матеріали 79-ї Міжнародної науково-практичної конференції. Дніпров. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпро : Дніпров. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2019. 299–301.
11. Хатнюк Ю. А. Поняття та суть екологічної безпеки у діяльності залізничного транспорту України. *Вісник Чернівецького факультету Національного університету «Одеська юридична академія»*. 2015. № 1. С. 210-218. URL: <http://dspace.lvduvs.edu.ua/handle/1234567890/2945>
12. Otto A., Kellermann P., Annegret H. Thiekena, Costac M. M., Carmonac M., Bubecka P. Risk reduction partnerships in railway transport infrastructure in an alpine environment. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2019. Vol. 33. 385–397. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.10.025>
13. Palinsky J., Fabianova J., Mikusova N. Innovative Trends in the Field of Railway Transport and Infrastructure in the Conditions of Railways of the Slovak Republic. *Transportation Research Procedia*. 2024. Volume 77. 218-223. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2024.01.029>
14. Yoo S., Kumagai J., Aki R., Managi S. Railway network expansion reduces air pollution in Tokyo over 25 years. *Sustainable Cities and Society*. 2025. Vol. 127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106408>
15. Benoliel M. A., Ferreira P., Matos Silva C. Green urban railway stations: A methodology to assess and improve sustainability. *Transportation Research Procedia*. 2023. Vol. 72. P.1515-1522. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.618>

16. Природоохоронна діяльність АТ «Укрзалізниця» 2018-2022 : Інформаційно-аналітичний вісник. І. В. Юрченко та ін. Київ : Департамент безпеки руху, охорони праці та екологічної безпеки АТ «Укрзалізниця». 2023. 72 с.
17. Грищенко А. В., Васенко О. Г., Колісник А. В. та ін. Сучасний екологічний стан української частини річки Сіверський Донець (експедиційні дослідження). Харків : ВПП «Контраст», 2011. 340 с.
18. Жук В. М., Коробкова Г. В. Інтегральна оцінка сучасного якісного стану р. Сіверський Донець у межах Харківської області. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2015. Вип. 1–2. 103–109. URL: <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/3909/3476>
19. Коробкова Г. В. Сучасний екологічний стан басейну річки Сіверський Донець в межах Харківської області. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. № 14. 2016. 66-70. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2016-14-09>
20. Рибалова О. В., Бригада О. В., Ільїнський О. В., Бондаренко О. О. Оцінка екологічного стану басейну р. Сіверський Донець в межах Харківської області. *The scientific heritage*. № 49 (2020). 27–32. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/12371>.
21. Васенко О. Г., Брук В. В., Карлюк А. А., Свиридов Ю. В. Прогнозування якості води в річках Дунай та Сіверський Донець за допомогою геоінформаційних технологій. *World science*. Poland, 2019. № 11(51). 45–136. DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30112019/6766
22. Безсонний В. Л., Третьяков О. В., Буц Ю. В. Охорона поверхневих джерел водопостачання від антропогенного впливу (на прикладі р. Сіверський Донець). *Проблеми екологічної безпеки : XVII Міжнар. наук.-техн. конф.: зб. наук. праць*. Кременчук, 2019. 100-104. URL: https://repository.hneu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/22732/1/Bezsonnyi_knf_kremenchuk.pdf
23. Bezsonnyi V., Ponomarenko R., Tretyakov O., Asotsky V., Kalynovskyi A. Regarding the choice of composite indicators of ecological safety of water in the basin of the Siversky Donets. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 2021, 30(4), 622-631. DOI: <https://doi.org/10.15421/112157>
24. Крайнюков, О. М., Кривицька, І. А., Зюзь, Т. М. Еколого-токсикологічна оцінка якості води річки Лопань в межах Дергачівського району Харківської області. *Молодий вчений*, 2020. Т. 3 (79). 168-174. DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-3-79-37>
25. Бірюков О. В. Гідрохімічний аналіз динаміки змін якості поверхневих вод річки Оскіл. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2023. Вип. 29. 17–25. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-29-02>
26. Рибалова О. В., Ільїнський О. В., Бондаренко О. О., Макаров Є. О., Жук, В. М. Визначення екологічних нормативів для басейну річки Уди в межах Харківської області. *World Science*. № 1(41), Vol.1, 2019. 36–43. DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31012019/6296
27. /M. G. Uddin та ін. Performance analysis of the water quality index model for predicting water state using machine learning techniques *Process Safety and Environmental Protection*. 2023. Т. 169. 808–828. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.11.073>
28. B. Pan та ін. Determination of key parameters in water quality monitoring of the most sediment-laden Yellow River based on water quality index. *Process Safety and Environmental Protection*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.05.067>
29. J. Wang та ін. Identification of pollution source and prediction of water quality based on deep learning techniques. *Journal of Contaminant Hydrology*. 2023. С. 104287. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2023.104287>
30. Mihali C., Dippong T. Water quality assessment of Remeti watercourse, Maramureş, Romania, located in a NATURA 2000 protected area subjected to anthropic pressure. *Journal of Contaminant Hydrology*. 2023. С. 104216. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2023.104216>
31. Денисик Г. І., Лозова. Енциклопедія сучасної України / редкол. І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк та ін. Київ : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України. 2016. Електронний ресурс. URL: <https://esu.com.ua/article-56244>
32. Зленко Г. О., Кулик М. І. Оцінка впливу об'єктів інфраструктури залізниці на стан поверхневих вод річки Лозова Харківської області. *Охорона довкілля: збірник наукових статей XX Всеукраїнських наукових Талі-ївських читань*. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024 р. 121 – 124. (25 жовтня 2024 р.). URL: <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/19452>
33. Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення, затверджені Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 02.05.2022 № 721. URL: https://moz.gov.ua/uploads/7/36944-dn_721_02_05_2022_dod.pdf
34. Сніжко С. І. Оцінка та прогнозування якості природних вод: підручник. Київ: Ніка. Центр, 2001. 264 с.
35. Юрасов С. Н., Кур'янова С. О., Юрасов Н. С. Комплексна оцінка якості вод за різними методиками та шляхи її вдосконалення. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2009. № 5. 42–53. URL: <http://uhmj.odeku.edu.ua/wp-content/uploads/2016/08/5-Yurasov-Kurianova.pdf>

36. Кулик М. І., Лісняк А. А. Оцінка якості поверхневих вод у річці Сіверський Донець в межах Харківської області у 2023 році. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 41. 83 - 99. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-06>

Стаття надійшла до редакції 30.04.2025

Стаття рекомендована до друку 04.06.2025

H. O. ZLENKCO,

Leading Engineer of the Southern Territorial Division
of the Department of Traffic Safety, Labor Protection and Environmental Safety
e-mail: anna-zlenko@ukr.net

*Regional branch office «Southern Railway» «Ukrzaliznytsia»,
7 Yevhen Kotlyar St., Kharkiv, 61052, Ukraine*

M. I. KULYK, PhD (Technical), Assoc. Prof.,

Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Management

e-mail: m.kulyk@karazin.ua ORCID ID: <https://orsid.org/0000-0002-0605-9367>

*V. N. Karazin Kharkiv National University
4, Svobody Square, Kharkiv, 61022, Ukraine*

**INFLUENCE OF RAILWAY TRANSPORT ENTERPRISES ON THE STATE
OF SURFACE WATERS USING THE EXAMPLE OF KHARKIV REGION**

Purpose. To determine the impact of one of the railway transport enterprises on the state of surface waters on the example of the Lozova River in the Lozova District of the Kharkiv Region based on the determination of water quality indices.

Methods. The water pollution index (WPI), the modified water pollution index (WPI mod) and the combinatorial water pollution index (CPI).

Results. It was determined that changes in water quality occur after the discharge of wastewater from one of the railway transport enterprises, a deterioration in water quality is observed by 1.004 times according to the average WPI value and 1.070 times according to the average modified WPI value. According to the average PCPI, on the contrary, there is an improvement in water after discharge by 1.016 times. This was influenced by the exceeding of the MPC for suspended solids at the point of wastewater discharge in 2022. The water quality of the Lozova River according to the method of assessing the WPI and modified WPI belongs to the II class of water quality and is characterized as “clean”. According to the CPI method, the river water in 2020, 2021 and 2022 also belongs to the II class of water quality, but has the characteristic of “polluted”, and in 2023 and 2024 the water belongs to the I class of water quality and has the characteristic of “slightly polluted”. The hydrochemical indicators that determined the water quality class of the Lozova River are SPAR, chlorides, phosphates and suspended solids.

Conclusions. The one of the enterprises of JSC "Ukrzaliznytsia" does not significantly affect the quality of surface waters of the Lozova River in the Lozova district of the Kharkiv region.

KEY WORDS: railway transport, surface waters, water pollution index, combinatorial pollution index

References

1. National Report on the State of the Environment of Ukraine in 2021. (2022). Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. Kyiv. Retrieved from <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf> (in Ukrainian)
2. Report on the state of the environment in the Kharkiv region in 2023: (2024). Department of Environmental Protection and Nature Management. Kharkiv Regional Military (State) Administration. Retrieved from https://kharkivoda.gov.ua/content/documents/1285/128411/Attaches/regionalna_dopovid_2023_harkiv.pdf (in Ukrainian)
3. On approval of the National Strategy of Ukraine for the period until 2023. (2018). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 05/30/2018 No. 430-p. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text> (in Ukrainian)

4. Bosak, P. V., Lukianchuk, N. H., & Popovych, V. V. (2022). Factors influencing railway transport on environmental safety. *Ecological Sciences*. 3 (42). 205-210. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.34> (in Ukrainian)
5. Pylypchuk O. Ya., Vysotska T. I., & Pichkur, T. V. (2020). Impact of railway transport on the environment: Problems of soil purification from oil products. *Ecological sciences*, 3(30), 113-118. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.19> (in Ukrainian)
6. Antoniuk, U. V. (2012). Current status and prospects for ensuring environmental safety in the railway transport sector in Ukraine. *Current problems of the state and law*. 64(37) 259-266. Retrieved from <http://www.apdp.in.ua/v64/37.pdf> (in Ukrainian)
7. Loza, V. G., Kuhlivskiy, S. V., Kosenko, B. Ya. & Pidskrebaev, O. M. (2008). Methods of environmental protection in Ukrainian transport. Retrieved from <http://stp.diit.edu.ua/article/download/14393/12208> (in Ukrainian)
8. Zaporozhets, O. I., Boychenko, S. V., Matveeva, O. L., Shamansky, S. Y., Dmytrukha, T. I. & Madzhd, S. M. (2017). In S. V. Boychenko, (Ed.). *Transport ecology*. Kyiv: NAU. (in Ukrainian)
9. Popovych, V. V. & Bosak, P. V. (2022). The impact of railway transport on the state of the environment in Ukraine. *Proceedings of the II All-Ukrainian scientific and practical conference of teachers and practitioners Occupational safety: education and practice and the XII All-Ukrainian scientific and practical conference of cadets, students, postgraduates and adjuncts. Problems and prospects for the development of occupational safety*. Lviv: LDU BZHD. 75-76. Retrieved from https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/10208/1/conference_collection_of_materials_compressed.pdf (in Ukrainian)
10. Kalymbet, M. V. & Zelenko, Yu. V. (2018). Implementation of the concept of environmentally friendly and resource-saving technologies for the operation of railway transport. *Proceedings of the VI All-Ukrainian Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists "Youth: Science and Innovations". Volume 10 – Environmental Problems of the Region*. 13-14. Retrieved from <https://rmv.nmu.org.ua/ua/arkhiv-zbirok-konferentsiy/molod-nauka-ta-innovatsii-2018/%D0%A2%D0%BE%D0%BC%2010.pdf> (in Ukrainian)
11. Khatniuk Yu. A. (2015). Poniattia ta sut ekolohichnoi bezpeky u diialnosti zaliznychnoho transportu Ukrainy. *Juris Europensis Scientia*, (1), 210-218. <http://dspace.lvduvs.edu.ua/handle/1234567890/2945> (in Ukrainian)
12. Ottoa, A., Kellermann, P., Annegret, H. Thiekena, Costac, M. M., Carmonac, M. & Bubecka P. (2019). Risk reduction partnerships in railway transport infrastructure in an alpine environment. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 33, 385–397. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.10.025>
13. Palinsky, J., Fabianova, J. & Mikusova, N. (2024). Innovative Trends in the Field of Railway Transport and Infrastructure in the Conditions of Railways of the Slovak Republic. *Transportation Research Procedia*, 77, 218-223. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2024.01.029>
14. Yoo, S., Kumagai, J., Aki, R. & Managi S. (2025). Railway network expansion reduces air pollution in Tokyo over 25 years. *Sustainable Cities and Society*. 127. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106408>
15. Benoliel, M. A., Ferreira, P. & Matos Silva, C. (2023). Green urban railway stations: a methodology to assess and improve sustainability. *Transportation Research Procedia*. 72. 1515-1522. <https://doi.org/10.1016/j.trpro..2023.11.618>
16. Yurchenko, I. V. (2023). Environmental protection activities of JSC "Ukrzaliznytsia" 2018-2022: *Information and analytical bulletin*. Kyiv: Department of traffic safety, labor protection and environmental safety of JSC "Ukrzaliznytsia". (in Ukrainian)
17. Hrytsenko, A. V., Vasenko, O. H., Kolisnyk, A. V. (2011). Current ecological state of the Ukrainian part of the Siverskyi Donets River (expeditionary research). Kharkiv : VPP «Kontrast». (in Ukrainian)
18. Zhuk, V. M. & Korobkova, H. V. (2015). Integral assessment of the current qualitative state of the Siverskyi Donets River within the Kharkiv region. *Man and the environment. Problems of neoecology*. (1–2), 103–109. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/3909/3476> (in Ukrainian)
19. Korobkova, H. V. (2016). Current ecological state of the Siverskyi Donets River basin within the Kharkiv region. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series "Ecology"*. (14). 66-70. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2016-14-09> (in Ukrainian)
20. Rybalova, O. V., Bryhada, O. V., Ilinskyi, O. V. & Bondarenko, O. O. (2020). Assessment of the ecological state of the Siverskyi Donets River basin within the Kharkiv region. *The scientific heritage*, (49), 27–32. Retrieved from <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/12371> (in Ukrainian)
21. Vasenko, O. H., Bruk, V. V., Karliuk, A. A. & Svyrydov, Yu. V. (2019). Forecasting water quality in the Danube and Seversky Donets rivers using geoinformation technologies. *World science. Poland*. 11(51), 45–136. https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30112019/6766 (in Ukrainian)
22. Bezsonnyi, V. L., Tretiakov, O. V. & Buts Yu. V. (2019). Protection of surface water sources from anthropogenic impact (on the example of the Siverskyi Donets River). *Proceedings of the XVII International Scientific and*

- Technical Conference: Problems of ecological safety*. Kremenchuk. 100-104. Retrieved from https://repository.hneu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/22732/1/Bezsonnyi_knf_kremenchuk.pdf (in Ukrainian)
23. Bezsonnyi, V., Ponomarenko, R., Tretyakov, O., Asotsky, V. & Kalynovskyi, A. (2021). Regarding the choice of composite indicators of ecological safety of water in the basin of the Siversky Donets. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 30(4). 622-631. <https://doi.org/10.15421/112157>
24. Krainiukov, O. M., Kryvytska, I. A. & Ziuz, T. M. (2020). Ecological and toxicological assessment of the water quality of the Lopan River within the Dergach district of the Kharkiv region. *Young scientist*. 3 (79). 168-174. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-3-79-37> (in Ukrainian)
25. Biriukov, O. V. (2023). Hydrochemical analysis of the dynamics of changes in the quality of surface waters of the Oskil River. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Ecology"*. (29), 17–25. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-29-02> (in Ukrainian)
26. Rybalova, O. V., Ilinskyi, O. V., Bondarenko, O. O., Makarov, Ye. O. & Zhuk, V. M. (2019). Determination of environmental standards for the Uda River basin within the Kharkiv region. *World Science*, 1(41), 36–43. https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31012019/6296 (in Ukrainian)
27. Uddin, M. G., Nash, S., Rahman, A. & Olbert, A. I. (2023). Performance analysis of the water quality index model for predicting water state using machine learning techniques. *Process Safety and Environmental Protection*. 169. 808–828. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.11.073>
28. Pan, B., Han, X., Chen, Y., Wang, L. & Zheng, X. (2022). Determination of key parameters in water quality monitoring of the most sediment-laden Yellow River based on water quality index. *Process Safety and Environmental Protection*. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.05.067>
29. Wang, J., Xue, B., Wang, Y., Yinglan, A., Wang, G. & Han D. (2023). Identification of pollution source and prediction of water quality based on deep learning techniques. *Journal of Contaminant Hydrology*. 104287. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2023.104287>
30. Mihali, C. & Dippong, T. (2023). Water quality assessment of Retea watercourse, Maramureş, Romania, located in a NATURA 2000 protected area subjected to anthropic pressure. *Journal of Contaminant Hydrology*. 104216. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2023.104216>
31. Denisyk, G. I. (2016). Lozova. In I. M. Dzyuba, A. I. Zhukovsky, M. G. Zheleznyak, (Eds.) *Encyclopedia of Modern Ukraine*. Kyiv: Institute of Encyclopedic Research of the NAS of Ukraine. Retrieved from <https://esu.com.ua/article-56244> (in Ukrainian)
32. Zlenko, H. O. & Kulyk, M. I. (2024). Assessment of the impact of railway infrastructure facilities on the state of surface waters of the Lozova River in Kharkiv Oblast. *Proceedings of Scientific Articles of the 20th All-Ukrainian Scientific Taliiv Readings: Environmental Protection*. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University. 121-124. Retrieved from <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/19452> (in Ukrainian)
33. Hygienic standards of water quality of water bodies to meet drinking, household and other needs of the population. (2022). Approved by the Order of the Ministry of Health of Ukraine dated 02.05.2022 No. 721. Retrieved from https://moz.gov.ua/uploads/7/36944-dn_721_02_05_2022_dod.pdf (in Ukrainian)
34. Snizhko, S. I. (2001). Assessment and prediction of natural water quality: textbook. Kyiv: Nika. Center. 264. (in Ukrainian)
35. Yurasov, S. N., Kurianova, S. O. & Yurasov, N. S. (2009). Comprehensive assessment of water quality using various methods and ways to improve it. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*. (5). 42 - 53. Retrieved from <http://uhmj.odeku.edu.ua/wp-content/uploads/2016/08/5-Yurasov-Kurianova.pdf> (in Ukrainian)
36. Kulyk, M. I. & Lisnyak, A. A. (2024). Assessment of surface water quality in the Siversky Donets river within Kharkiv region in 2023. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (41), 83 – 99. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-06> (in Ukrainian)

The article was received by the editors 30.04.2025

The article is recommended for printing 04.06.2025

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-06>

УДК (UDC): 502/504

В. В. ГОЛОЛОБОВ¹,

аспірант кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи

e-mail: vadim.gololobov@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-0086-0303>

О. О. ГОЛОЛОБОВА¹, канд. с.-г. наук, доц.,

доцент кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи

e-mail: elena.gololobova@karazin.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5558-2114>

¹Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ БІОПРЕПАРАТІВ У НАСАДЖЕННЯХ *AESCULUS HIPPOCASTANUM*

Мета. Визначення ефективності застосування інтегрованого біологічного захисту міських насаджень каштану (*Aesculus hippocastanum* L.), що уражаються каштановою мінуючою міллю (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimić) та іржею.

Методи. Польовий, лабораторний, метод фотофіксації результатів польового експерименту.

Результати. Встановлений позитивний вплив обробки біопрепаратами на фітосанітарний стан листя каштана, що підтверджено фотофіксацією та аналізом вмісту фотосинтетичних пігментів. У неуразеженому обробленому листі вміст азоту майже вдвічі більший, ніж в листі необроблених каштанів, що є важливим фактором для росту і розвитку рослин. Посилення поглинання макроелементів (фосфору, калію) та мікроелементів (заліза, кобальту, міді, цинку) у необроблених дерев є механізмом адаптації до стресу, спричиненого шкідниками та хворобами.

Висновки. Завдяки поєднанню біопрепаратів фунгіцидної, інсектицидної та акарицидної дії можна ефективно знижувати і контролювати фітосанітарний стан міських насаджень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: біологічний захист, зелена інфраструктура, фітопатологічний стан, хвороби рослин, шкідники, фотосинтетичні пігменти

Як цитувати: Гололобов В. В., Гололобова О. О. Застосування біопрепаратів у насадженнях *Aesculus hippocastanum*. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія». 2025. Вип. 32. С. 89-100. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-06>

In cites: Gololobov, V. V., & Gololobova, O. O. (2025). Biopreparations application in *Aesculus hippocastanum* plantings. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (32), 89 - 100. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-06> (in Ukrainian)

Вступ

Зелена інфраструктура міст – це життєво необхідний кластер сучасного урбаністичного середовища. Зелена інфраструктура забезпечує широкий спектр екосистемних послуг від очищення повітря та води, збереження біорізноманіття, пом'якшення наслідків зміни клімату до створення комфортного простору для життя [1]. В той же час зелена інфраструктура зазнає значного тиску з боку як природних, так і антропогенних факторів, які часто діють у комплексі, посилюючи негативний вплив на стан зелених насаджень.

Останнім часом як природні так і міські зелені насадження відчують значний

негативний вплив з боку адвентивних видів лісових комах, які поширилися на території України. Велику небезпеку для деревних порід дерев, які складають основу міських лісопарків і парків, скверів, алеїних насаджень, створюють інвазійні молі-мінери (Lepidoptera: Gracillariidae), які пристосувалися до високого рівня техногенного забруднення, дефіциту вологи, дії інсектицидів, а також завдяки наявності в більшості декількох поколінь на рік.

Листя гіркокаштана звичайного (*Aesculus hippocastanum* L.) пошкоджує каштановий мінер (*Cameraria ohridella*), уперше

zareestrovaniy u 1984–1985 pp. u prirodnykh lisakh biya ozera Ohryd u Makedonii, na meji z Albaniyu, yakii potim поширився u Zahidniy i Tsentralnyi Svropi. Shkidlivist mineriv obumovlena iynnoyu spromozhnistyu do utvorennia velikoi kilykosti min na listi, sho pryzvodyt do yoho peredchasnoho opadannya i oslablennia deriev [2].

V khodi doslidzhen, provedeniyh u 2021 r. na teritorii «Parku veteraniiv» HNAU im. V.V. Dokuchaeva, vstanovleno, sho stupin shkodzhennia za shestibalnoyu shkaloyu listia kashtanu na pochatku vegetatsii (15 travnia) sklavav 1,11 bali; 29 travnia seredniy bal shkodzhennia sklavav 1,74, 19 chervnia – 2,4, 4 lipnia – 3,54, maksimalne shkodzhennia vidmichenе 18 lipnia – 4,22 bali [3].

Doslidzhenniamy provedeniyh v Dendrologichnomu parku DBTU Kharkivskogo rayonu Kharkivskoi oblasti u 2023 r vstanovleno, sho rozvikot 1-i generatsii u 2023 r. prokhodiv vid 47 do 55, 2-i – vid 38 do 47 dib. U tretiiy dekadii serpnia pochalasя 3-я generatsiya, vikhid pershiyh gusenyts u 4 dekadii serpnia, zalaylivuvannya yakiy pochalosя v kintsi veresnia [4].

Zastosuvannya khimichnykh zakhodiv borotby z kashtanovoyu minuuyochoyu millyu v umovakh naselennykh punktiv ta zon rekreatsii znachno обмежено через високу небезпечність. Серед запропонованих заходів – згрібання та компостування опалого листя [5], спалювання листя, адже зимуючою стадією шкідника є лялечка на опалому листі, використання стійких форм і гібридів рослин, застосування феромонних пасток, ін'єкції інсектицидів у стовбури дерев [2, 4, 6].

Nezvazhayuchi na karantinni i viniщувальni zakhodi, sho deyakoyu miroyu strimували aktivnist rozpovsyudzhennia tsikh nebezpechniyh organizmiv, prodovzhuetsя zrostanня iй chiselnosti i shkidlivosti ta ekspansiya na novi pridatni dlya isnuvannya teritorii. Osobливо небезпечні ці інвазійні види на рослинах, sho vikoristovuyutsя dlya ozelenennia v umovakh velikogo mista ta v umovakh botanichnykh sadiv, dendroparkiv, u yakiy zibrani velikii kolektsii roslin iz rizniy rodin [7]. Na prikkladі Botanichnogo sadu imeni akad. O.V. Fomina Kiyvskogo natsionalnogo universitetu im. T. Shevchenka avtori publikatsii nadayut dinamiku пошиrenня invaziyiynykh karantinnykh vidiv, zokrema, metelika amerikanskogo bilogo – *Hyphantria cunea Drury*, tripsa amerikanskogo kvitkovogo – *Frankliniella*

occidentalis Pergande та борошнистої роси азалії – *Erysiphe azaleae* U. Braun [7, 8].

Na nash poglyad, vishchepererahovani napyamki borotby z invaziyiyniyh komakh, khvorobami v umovakh misykykh landshaftiv potrebuyut aktivnogo iй dopovnennia vprovadzhenniamy biologichnykh metodiv zakhistu roslin. Vrahovuyuchi providnu rol mikroorganizmiv u protsakh krugooibgu biogeniynykh elementiv, mineralnogo zhivlennia roslin ta reguluvanni fitosanitarnogo stanu gruntu, roslin, zastosuvannya biopreparativ є neodminnym skladnikom kompleksu zakhodiv iz pidtrимання zdorov'ya ta rodiochosti gruntiv, zapobigannya iй visnachenniu, utrimanniu roslin v dobromu ekoлогichnomu stani. Neobkhidniy perehid treba zdийsnyuvati vprovadzhenniamy suchasniykh pidkhodiv, yakі, zokrema, peredbachayut zastosuvannya mikrobniykh preparativ, yakі optimizuyut mineralne zhivlennia roslin, biofungitsidiv, bioinsektitsidiv, destruktiv [9].

Biopreparati, yakі виготовляють на основі mikroorganizmiv, mayut ряд переваг перед khimichniyimi zasobami zakhistu roslin. Z ekoлогichniykh pozitsii zastosuvannya mikrobiopreparativ є альтернативою khimichnomu методу zakhistu roslin [10]. Biopreparati mayut nizku переваг nad khimichniyimi zasobami zakhistu roslin (tabl. 1).

Narazi shвидко zrostaє rol biologichnogo методу zakhistu roslin u praktitsii svitovogo sil'skogo gospodarstva [11–15]. V Ukraini останнім часом збільшуються темпи rozviktu organichnogo zemlerobstva, biologichniy метод zakhistu pol'oviykh kul'tur vid kompleksu shkodochinnykh organizmiv nabyuає vse bilyshoi aktualnosti [16–21]. V той же час частка biopreparativ na rynku zasobiv zakhistu roslin v Ukraini stanovit liше 8,3 % [9].

V Ukraini biopreparati na osnovі agromichno korisniy mikroorganizmiv rozroblayut i viroblayut v Institutі sil'skogospodarskoi mikrobiologii ta agropromislovogo virobniцtva HAHN, Institutі agroekologii i prirodoкористування HAHN, ITI «Biотехніка» HAHN, Institutі mikrobiologii i virusologii im. D. K. Zabolotnogo HAHN Ukraini, Institutі fiziologii roslin ta genetiki HAHN Ukraini, Natsionalnomyu universitetі biorесурсiv i prirodoкористування Ukraini, Institutі zoologii im. I.I. Shmalyauzena HAHN Ukraini.

Таблиця 1

Аналіз переваг біопрепаратів над хімічними засобами захисту рослин

Table 1

Analysis of the advantages of biological products over chemical plant protection products

Характеристика/ Characteristic	Хімічні засоби захисту рослин / Chemical plant protection products	Біопрепарати / Biological products
Вплив на довкілля / Environmental impact	Високий рівень токсичності, забруднення ґрунту і води	Низька токсичність, безпечні для довкілля
Вибірковість дії / Selectivity of action	Низька, часто впливають на корисних комах	Висока, діють вибірково на шкідників і збудників хвороб
Фітотоксичність / Phytotoxicity	Можуть пошкоджувати рослини	Не фітотоксичні
Стійкість шкідників / Pest resistance	Можливість розвитку резистентності	Низька вірогідність розвитку резистентності
Вплив на людину і тварин / Effects on humans and ani- mals	Можуть бути токсичними для людини і тварин	Безпечні для теплокровних тварин і людини
Термін очікування / Waiting period	Довший	Короткий
Накопичення токсичних ре- човин у довкіллі / Accumulation of toxic sub- stances in the environment	Не накопичуються	Акумулятивний ефект

За асортиментом продукції найбільшими вітчизняними виробниками біопрепаратів є ПП «БТУ-Центр» (21 препарат), ДП «Ензим» (15 препаратів), ТОВ «БІОНАСЕРВІС ПЛЮС» (15 препаратів), ПП НВП «Еко-Гарант», ТОВ «БІОНОРМА», ТОВ «Черкаський науково-виробничий центр по біологічному захисту рослин» (6 препаратів), Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН України (5 препаратів) [21].

Важко переоцінити необхідність екологічних прийомів, які підвищують стійкість рослин до абіотичних та біотичних стресових умов. На сьогодні в Україні екологічні, зокрема, біологічні методи захисту міських насаджень мають обмежене застосування. Інтегрування біопрепаратів в систему захисту повинно забезпечити добрий екологічний стан міських насаджень а також сприятиме біологічному оздоровленню ґрунтів урболандшафтів.

Впровадження ефективних та водночас безпечних для мешканців міських

територій прийомів підвищення стійкості міських зелених насаджень до несприятливих факторів міського середовища, можливість їх регулярного застосування вивчалася в дослідженнях, які проводилися упродовж 2015–2017 рр. на алеїних насадженнях каштану, розташованих на території ХНАУ імені В.В. Докучаєва. Для кремнієво-калійного листового підживлення використано інноваційний препарат «Квантум-АКВА-СИЛ», який містить 10% калію, 20% кремнію, а також 1% гумінових речовин для покращення засвоєння і проникнення активних речовин. Виявлено підвищення стійкості дерев каштану до біотичних несприятливих факторів середовища при дворазовій обробці листя каштану 0,5 % розчином кремнієво-калійного добрива. Використання препарату з вмістом кремнію та калію виявилося ефективним для зниження пошкодження шкідниками, але автори зазначили необхідність доповнення кремнієво-калійного підживлення додатковими заходами по знищенню каштанової молі [22, 23].

Методика, об'єкти та методи дослідження

Польові дослідження щодо вивчення ефективності інтегрованого догляду за деревними багаторічними рослинами урболандшафтів проводили із поєднанням біопрепаратів різного призначення, а саме, біопрепаратів, спрямованих на захист рослин від збудників хвороб та біопрепаратів, що мають інсектицидну та акарицидну дію.

Тест-рослиною обрано гіркокаштан звичайний (*Aesculus hippocastanum*). Польові дослідження проведені на зелених алейних насадженнях низькорослих форм каштану до 4–5 м, розташованих на території Державного біотехнологічного університету (с. Докучаєвське, Харківського району, Харківської області). Агроприйомом вибору стала листкова обробка насаджень каштану, яку проводили баковою сумішшю препаратів стандартним обприскуванням у вечірній час. Обробки проводилися постійно з початку вегетаційного сезону з інтервалом 10–12 днів.

Для проведення польового експерименту використовували біопрепарати біотехнологічної компанії VTU – українського виробника мікробіологічних препаратів для аграрної галузі та оздоровлення людей [24]. В якості препарату захисту рослин від хвороб обрано багатофункціональний, багатокомпонентний біофунгіцид МІКОХЕЛП та біопрепарат з інсектицидною та акарицидною дією АКТОВЕРМ® KE 1,8%. Робочий розчин суміші біопрепаратів готувався безпосередньо перед проведенням обробки, концентрація кожного компонента відповідала рекомендаціям виробника: витрати – 3,0 л/га, робочий розчин препарату – 300 л/га (в перерахунку на 10 л розчину). Препарати у

баковій суміші сумісні з прилиплювачами засобів для захисту та живлення рослин, в якості якого використовувався біоприлиплювач ЛППОСАМ® [16].

Мета: визначення ефективності інтегрованого біологічного захисту міських насаджень каштану (*Aesculus Hippocastanum* L.), що уражаються каштановою мінуючою мільєю (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimić) та іржею.

Об'єкт дослідження: гіркокаштан звичайний (*Aesculus Hippocastanum* L.) в зелених насадженнях м. Харкова

Предмет дослідження: фітопатологічний стан міських насаджень *Aesculus Hippocastanum* L.; вміст біогенних макро- і мікроелементів, вміст фотосинтетичних пігментів в листі *Aesculus Hippocastanum* L.

На початку серпня 2024 р. відібрані та підготовлені до лабораторного аналізу зразки листя каштану. Вміст загального азоту, фосфору, калію, мікроелементний склад визначено в лабораторії інструментальних методів досліджень ґрунтів, стандартизації і метрології Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського»; визначення вмісту фотосинтетичних пігментів проведено в Навчально-наукової лабораторії масових аналізів Уманського національного університету садівництва відповідно атестованих методик. У серпні проведена фотофіксація результатів дослідження щодо ефективності інтегрованого біологічного захисту міських насаджень каштану завдяки поєднанню біопрепаратів та фунгіцидної, інсектицидної та акарицидної дії.

Результати дослідження та обговорення

Фотофіксація результатів польового експерименту представлена на рис. 1–4. Листя каштану слугує індикатором здоров'я рослини, оскільки симптоми хвороби проявляються насамперед на листі. Листя каштана без обробки мають значну кількість некротичних ушкоджень, що проявляються у вигляді плям різного розміру та форми. Некрози займають значну площу листової поверхні, локалізуються переважно на краях та між жилками листової пластинки. Практично втрачений зелений колір листя, воно виглядає бурим та сухим (Рис. 1, 3).

На листі каштанів, які оброблювалися біопрепаратами, структура листя не пошкоджена, некротичні ушкодження відсутні, листкова пластинка зберігає зелений колір та тургор. На адаксіальній та абаксіальній поверхнях листя відсутні видимі ознаки ураження, відсутні ознаки грибкових, бактеріальних захворювань та пошкоджень, спричинених комахами-шкідниками (Рис.2, 4).

Результати обробки біопрепаратами на вміст фотосинтетичних пігментів (хлорофілу а, хлорофілу b, каротиноїдів) в листі каштану показали, що у необробленому



Рис. 1 – Фотофіксація фітосанітарного стану дерев каштану: без проведення обробок

Fig. 1 – Photographic recording of the phytosanitary condition of chestnut trees: without treatments



Рис. 2 – Фотофіксація фітосанітарного стану дерев каштану: інтегрований захист від хвороб та шкідників

Fig. 2 – Photographic recording of the phytosanitary condition of chestnut trees: integrated protection against diseases and pests



Рис. 3 – Фотофіксація фітосанітарного стану листя каштану: без проведення обробок

Fig. 3 – Photographic fixation of the phytosanitary condition of chestnut leaves: without treatment



Рис. 4 – Фотофіксація фітосанітарного стану листя каштану: проведений інтегрований захист від хвороб та шкідників

Fig. 4 – Photographic recording of the phytosanitary condition of chestnut leaves: integrated protection against diseases and pests

біопрепаратами листі вміст хлорофілу *a* знизився на 40,89%, вміст хлорофілу *b* знизився на 41,70%, втрата сумарного вмісту хлорофілу *a* і хлорофілу *b* склала 41,28% (табл. 2).

Фотосинтетичні пігменти є чутливим показником фізіологічного стану рослин, вони є активними агентами формування адаптивних реакцій рослин до дії стресу. Каротиноїди слугують захисними агентами, які є

важливими структурними компонентами фотосинтетичних комплексів і мембран, і відіграють важливу роль у механізмі збирання світла фотосинтезуючими рослинами. Захист від активних форм кисню, що реалізується шляхом гасіння синглетного кисню і збуджених станів фотосенсибілізуючих молекул, а також шляхом видалення вільних радикалів, є однією з основних біологічних

Таблиця 2

Вміст фотосинтетичних пігментів в листі каштану, мг/кг п. с. маси, 2024 р.

Table 2

Content of photosynthetic pigments in chestnut leaves, mg/kg air-dry weight, 2024

Варіант / Variant	Chla,	Chlb,	Chl(a+b),	Car	Chla/Chlb,	Chl(a+b)/Car
Без обробки / Without leaf treatment	0,159	0,319	0,478	0,218	0,50	2,19
Каштан з обробкою / With leaf treatment	0,269	0,545	0,814	0,128	0,33	6,36

функцій Car. Молекули Car допомагають у формуванні білкових субодиниць фотосинтетичних комплексів, склеюючи їхні білкові компоненти. На додаток до їхніх вищезазначених незамінних функцій, Car відіграють суттєву роль у формуванні та підтримці правильної клітинної архітектури, а також потенційно в захисті фотосинтетичного апарату в умовах стресу [25, 26]. Зменшення вмісту хлорофілу та одночасне збільшення вмісту каротиноїдів у листі є реакцією каштану на пошкодження, яке спричинено шкідниками і хворобою. Вміст каротиноїдів у листі каштану з обробкою складає 0,128 мг/кг сух. маси, без обробки він підвищився до 0,218 мг/кг сух. маси. Співвідношення Chl(a+b)/Car для листя каштану без обробки складає 2,19, з обробкою 6,36. Аналіз вмісту фотосинтетичних пігментів, розрахункових показників вказують на надзвичайно високий рівень стресу, який відчувають уражені хворою і шкідниками каштани.

Залежно від характеру та інтенсивності стресу, щоб зберегти свою життєздатність, рослини адаптуються на всіх організаційних рівнях. У відповідь на стресові умови включаються механізми транслокації заліза, які далі діють як регуляторний агент і захищають рослини. Залізо відіграє незамінну

роль у пом'якшенні стресу, активує рослинні ферментативні антиоксиданти, такі як каталаза (КАТ), пероксидаза та ізоформа супероксиддисмутази (СОД) [27]. Кобальт бере участь у регуляції росту і розвитку рослин, впливаючи на синтез гормонів, таких як ауксини і гібереліни, здатен покращувати фотосинтетичну активність рослин, збільшуючи вміст хлорофілу і покращуючи ефективність використання світла, в оптимальних дозах стимулює антиоксидантні ферменти, такі як супероксиддисмутаза, пероксидаза тощо [28].

Результати визначення мікроелементного складу листя оброблених і необроблених дерев каштану показали, що рослини посилили поглинання заліза, кобальту, міді та цинку у відповідь на стрес, спричинений шкідниками та хворобою. Це є механізмом їхньої адаптації та виживання в несприятливих умовах. Вміст заліза в необробленому листі у 13,65 разів більше, ніж у обробленому (табл. 3).

Можемо зробити припущення, що високий вміст заліза потрібен рослинам у захисті рослин від патогенів і відновленні пошкоджень. Воно необхідне не тільки для синтезу ферментів, які беруть участь в антиоксидантному захисті, а також для синтезу

Таблиця 3

Мікроелементний склад листя каштану, мг/кг п. с. м., 2024 р.

Table 3

Trace element composition of chestnut leaves, mg/kg air-dry weight, 2024

Варіант / Variant	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Без обробки / Without leaf treatment	0,62	0,20	6,02	212,14	51,53	0,34	6,80
Каштан з обробкою / With leaf treatment	0,27	0,33	3,07	15,54	72,49	0,36	6,05

фітоалексинів, речовин, що рослини синтезують у відповідь на зараження патогенами. Так, показано, що вплив високого вмісту заліза на рослини підвищує стійкість до зараження грибковим патогеном. Рівень експресії генів, що беруть участь у біосинтезі фітоалексинів, був вищим в оброблених залізом рослинах порівняно з контрольними рослинами [29, 30].

Встановлено вміст загального азоту, фосфору, калію. Обробка каштанів сумішню біопрепаратів комплексної захисної дії

забезпечило високий рівень азотного живлення, вміст загального азоту в листі каштанів, які оброблялися, складає 2 % проти 1,02% його вмісту в листі дерев, які не оброблялися. Достатній рівень азоту сприяє синтезу захисних сполук, зміцненню клітинних стінок та відновленню пошкоджених тканин. Тому високий вміст азоту в листі оброблених дерев є важливим показником позитивного впливу біопрепаратів на фізіологічний стан рослин та їх здатність протистояти стресу (табл. 4).

Таблиця 4

Вміст NPK у повітряно-сухій масі листя каштану, %, 2024 р.

Table 4

NPK content in the air-dry weight of chestnut leaves, %, 2024

Варіант / Variant	Загальні форми азоту, фосфору та калію MBB 31-497058-019-2005/ Common forms of nitrogen, phosphorus and potassium		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	масова частка, %/ mass fraction, %	масова частка, % mass fraction, %	масова частка, % mass fraction, %
Без обробки / Without leaf treatment	1,02	0,33	0,69
Каштан з обробкою / With leaf treatment	2,00	0,28	0,51

Фосфор, калій є важливими макроелементами, які беруть участь у багатьох фізіологічних і біохімічних функціях, які впливають на сприйнятливості рослин до хвороб. В огляді ролі фосфору, калію щодо контролю захворювань рослин, автори посилаються на значну кількість досліджень і доходять висновку, що більшість бактеріальних та грибкових захворювань зменшується зі оптимізацією фосфатного та калійного живлення [31].

Аналіз результатів вмісту загального фосфору і загального калію, а саме, його підвищення в листі каштанів, які не оброблювалися, наводять на думку, що у відповідь на

ураження патогенами і пошкодження тканин шкідниками рослини активують механізми, спрямовані на збільшення вмісту фосфору і калію в місцях ураження. У листі каштану без обробки вміст фосфору збільшився на 0,05 %, вміст калію – на 0,11 % (табл. 4)

Для досягнення максимальної ефективності біологічного захисту рекомендуємо поєднувати обробку біопрепаратами з іншими методами догляду за рослинами, такими як своєчасне видалення опалого листя. Здорові, неуражені листя дерев екологічно безпечно компостувати для створення ґрунтового субстрату по технології «in-situ» [32].

Висновки

Встановлено, що біологічний захист з використанням бакової суміші біопрепаратів Мікохелп та Актоверм®, які володіють фунгіцидними, інсектицидними та акарицидними властивостями є ефективним методом контролю фітосанітарного стану гіркокаштану звичайного в умовах урбанізованого середовища.

Фотофіксація наочно демонструє позитивний вплив обробки біопрепаратами на стан листя каштана. У необроблених дерев спостерігаються значні некротичні ушкодження, втрата зеленого кольору та тургору листя, що свідчить про сильне ураження шкідниками та хворобами. Натомість, листя оброблених дерев зберігає зелений колір, тургор та цілісність, що свідчить про ефективний захист від шкідників та хвороб.

Аналіз вмісту фотосинтетичних пігментів підтверджує позитивний вплив біопрепаратів на фізіологічний стан рослин. У листі оброблених дерев вміст хлорофілу *a* та *b* є значно вищим, ніж у необроблених, що свідчить про покращення фотосинтетичної активності. Збільшення вмісту каротиноїдів у необробленому листі свідчить про високий рівень стресу, який відчувають необроблені рослини.

Результати дослідження мікроелементного складу листя свідчать про те, що рослини, які не зазнали обробки, посилили поглинання заліза, кобальту, міді та цинку у відповідь на стрес, спричинений шкідниками та хворобами. Це є механізмом їхньої адаптації та виживання в несприятливих умовах. Високий вміст заліза в необробленому листі свідчить про його важливу роль у захисті рослин від патогенів та відновленні від пошкоджень.

Аналіз вмісту NPK показав, що обробка каштанів сумішшю біопрепаратів забезпечила умови для високого рівня азотного живлення. Підвищений вміст фосфору та калію в листі необроблених дерев свідчить про те, що у відповідь на ураження патогенами і пошкодження тканин шкідниками рослини активують механізми захисту, в яких необхідним є наявність цих елементів.

Для досягнення максимальної ефективності біологічного захисту рекомендуємо поєднувати обробку біопрепаратами з іншими методами догляду за рослинами, такими як своєчасне видалення опалого листя. Здорові, неуразені листя дерев екологічно безпечно компостувати для створення ґрунтового субстрату по технології «in-situ».

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Максименко Н. В., Бурченко С. В. Теоретичні основи стратегії зеленої інфраструктури: міжнародний досвід. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2019. Вип. 31. С. 16-25. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-31-02>
2. Мешкова В. Л., Туренко В. П., Байдик Г. В. Адвентивні шкідливі організми в лісах України. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія «Фітопатологія та ентомологія»*. 2014. № 1–2. С. 112-121. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/20465>
3. Снідалов М. В. Каштанова мінуюча міль у «Парку ветеранів» с. Докучаєвське Харківський район Харківська область: кваліфікаційна робота бакалавра: спец. 202 – Захист і карантин рослин; наук. кер. Г. В. Байдик. Харків: ДБТУ, 2023. 56 с. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/50416>
4. Халепа К. Р. Каштанова мінуюча міль в Дендрологічному парку ДБТУ Харківського району Харківської області: кваліфікаційна робота бакалавра: спец. 202 – Захист і карантин рослин; наук. кер. Я. В. Кошеляєва. Харків: ДБТУ, 2024. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/58495>
5. Сонько С. П., Пушкарьова-Безділь Т. М., Суханова І. П., Василенко О. В., Гурський І. М., Безділь Р. В. Проблема утилізації опалого листя міст і відходів тваринницьких ферм та шляхи її вирішення. *Людина і довкілля. Проблеми неоекології*. Вип. 27. 2017. С. 143-154. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2017-27-16>
6. Evans H. E., Oszako T. (Eds.). *Alien Invasive Species and International Trade*. Published by Forest Research Institute, Sekocin Stary Poland. Warsaw, 2007. 179 pp. URL: <https://journals.pan.pl/dlibra/publication/135534/edition/118497/content>

7. Чумак П. Я., Ковальчук В. П. Екологічно безпечний захист рослин від інвазійних шкідливих організмів в умовах міста. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. №17. С. 79-85. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologichno-bezpechniy-zahist-roslin-vid-invaziynih-shkidlivih-organizmiv-v-umovah-mista>
8. Чумак П. Я., Вигера С. М., Сикало О. О. Ехінотрипс американський (*Echinothrips americanus* Morgan, *Thysanoptera: Thripidae*) в оранжереях Ботанічного саду ім. акад. О.В. Фоміна та біологічні заходи обмеження його чисельності. *Карантин і захист рослин*. 2005. № 12. С. 12-13.
9. Програма використання та охорони земель (грунтово-агрохімічні аспекти): за наук. ред. С. А. Балюка, М. М. Мирошніченка, Р. С. Трускавецького. Київ: Аграрна наука, 2023. 96 с.
10. Біологічні препарати для захисту рослин і технічні засоби їх застосування: навч. посіб. / С. В. Станкевич, В. М. Положенець, Л. В. Немерицька та ін. Житомир: Видавництво «Рута», 2022. 211 с. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/24133>
11. Wong, M.Y., Kwan, Y.M., Sathyapriya, H. Utilization of Biodiversity for Sustainable Plant Disease Management. In: Wong, M.Y. (eds) *Advances in Tropical Crop Protection*. Springer, Cham, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-59268-3_12
12. Sharma, M., Tarafdar, A., Ghosh, R., Gopalakrishanan, S. Biological Control as a Tool for Eco-friendly Management of Plant Pathogens. In: Adhya, T., Mishra, B., Annapurna, K., Verma, D., Kumar, U. (eds) *Advances in Soil Microbiology: Recent Trends and Future Prospects. Microorganisms for Sustainability*, vol 4. Springer, Singapore, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-7380-9_8
13. Jaiswal, D.K., Gawande, S.J., Soumia, P.S. et al. Biocontrol strategies: an eco-smart tool for integrated pest and diseases management. *BMC Microbiol*, 2022, 22, 324, DOI: <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02744-2>
14. Babbal, Adivitiya, Khasa, Y.P. Microbes as Biocontrol Agents. In: Kumar, V., Kumar, M., Sharma, S., Prasad, R. (eds). *Probiotics and Plant Health*. Springer, Singapore, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-3473-2_24
15. da Silva Folli-Pereira, M. et al. (2022). Microorganisms as Biocontrol Agents of Pests and Diseases. In: Arora, N.K., Bouizgarne, B. (eds). *Microbial BioTechnology for Sustainable Agriculture Volume 1. Microorganisms for Sustainability*, vol 33, 2022. Springer, Singapore. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-4843-4_4
16. Жуйков О. Г. Біологічний метод захисту рослин у сучасному органічному землеробстві України: історичні аспекти, тренди, перспективи. *Аграрні інновації*. 2022. № 12. С. 23-27. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.12.4>
17. Ковтун О., Тригуба І. Перспективи застосування біологічного методу в національних системах захисту рослин. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія «Агрономія»*. 2024. №28. С.160-165. DOI: <https://doi.org/10.31734/agronomy2024.28.160>
18. Марковська О. Є., Дудченко В. В., Кривуцький Р. М. Продуктивність сортів гороху за використання біоінокулянтів та біопестицидів. *Захист і карантин рослин у XXI столітті: проблеми і перспективи*. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої ювілейним датам від дня народження видатних вчених-фітопатологів, професорів В. Ф. Пересипкіна та Ф. М. Марютіна (м. Харків, 17–18 жовтня 2024 р.). Житомир: Видавництво «Рута», 2024. С. 223–226. URL: https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/58593/1/Konf_Zakhyst_karantyn_roslyn_2024-223-226.pdf
19. Лапчинський В. В. Біологічні препарати, як крок до сталого розвитку в землеробстві. *Digital transformation and technologies for sustainable development all branches of modern education, science and practice: International Scientific and Practical Conference Proceeding*, January 26, 2023. International Academy Applied Sciences in Lomza (Poland); State Biotechnological University (Ukraine). Publishing house: MANS w Łomży, Lomza, Poland, 2023. Part 2. P. 225–228. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/29424>
20. Світовий досвід застосування біологічного методу захисту рослин та перспективи в Україні. URL: <https://agro.dn.gov.ua/wp-content/uploads/2022/10/Biokontrol.-ITI-Biotehnika-NAAN-Ukrayiny.pdf> (дата звернення: 30.01.2025).
21. Біологічний метод захисту рослин як важливий інструмент переходу до органічного та екологічного землеробства: практика застосування і перспективи для України. URL: http://naas.gov.ua/news/?ELEMENT_ID=6416 (дата звернення: 30.01.2025).
22. Гололобова О. О., Телегіна Н. Є., Толстякова В. В. Дія кремнієво-калійного листового підживлення на вміст біогенних елементів та детокс-ефект в міських зелених насадженнях. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2015. № 3-4. С. 103-109. URL: <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/5563>
23. Gololobova O., Telegina N., Tolstyakova V. Detox Effect From Si-K Foliar Top-Dressing In Green Urban Plantations Of Aesculus Hippocastanum L. And Tilia Cordata Mill. *Agrobiodiversity for improving nutrition, health and life quality*. Nitra. Slovakia. 2017. №. 1. URL: <https://agrobiodiversity.uniag.sk/scientificpapers/article/view/43>

24. BTU. URL: <https://btu-center.com/about/> (дата звернення: 30.01.2025)
25. Ішук Л. П., Ішук Г. П. Аналіз пігментного апарату листків деяких видів і культиварів родини *Salicaceae* Mirb. у зв'язку із забрудненням повітря в умовах м. Біла Церква. *Екологічні науки : науково-практичний журнал* 2020. № 5(32) С. 91-95. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.5-32.13>
26. Domonkos I, Kis M, Gombos Z, Ughy B. Carotenoids, versatile components of oxygenic photosynthesis. *Progress in Lipid Research*. 2013. 52(4). P. 539-561. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2013.07.001>
27. Tripathi D., Singh S., Gaur S., Singh S., Yadav V., Liu S., Singh V., Sharma, S., Srivastava P., Prasad S., Dubey N., Chauhan D. & Sahi S. Acquisition and Homeostasis of Iron in Higher Plants and Their Probable Role in Abiotic Stress Tolerance. *Frontiers in Environmental Science*. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2017.00086>
28. Roychoudhury A., & Chakraborty S. Cobalt and molybdenum: Deficiency, toxicity, and nutritional role in plant growth and development. In *Plant Nutrition and Food Security in the Era of Climate Change*. Academic Press. 2022. pp. 255-270. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822916-3.00021-4>
29. Lorenzetti et al. Calcium, copper, manganese and zinc and plant diseases: a review. *Australian Journal of Crop Science*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.21.15.05.p2845>
30. Sánchez-Sanuy F., Mateluna-Cuadra R., Tomita K., Okada K., Sacchi G. A., Campo S., & San Segundo B. Iron Induces Resistance Against the Rice Blast Fungus *Magnaporthe oryzae* Through Potentiation of Immune Responses. *Rice*. 2022. 15:68. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12284-022-00609-w>
31. Ortel C. C., Roberts T. L., Rupe J. C. A review of the interaction between potassium nutrition and plant disease control. *Agrosystems, Geosciences & Environment*. 2024. Is. 7, e20489. DOI: <https://doi.org/10.1002/agg2.20489>
32. Maksymenko N. V., Gololobova O. O., Sonko S. P., Stolov V. O., Shiyan D. V. Utilization of vegetative waste from green infrastructure of cities “in-situ”. ICSF-2024. IOP Conf. Series: *Earth and Environmental Science* 1415. 012127. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012127>

Стаття надійшла до редакції 05.02.2025

Стаття рекомендована до друку 14.03.2025

V. V. GOLOLOBOV¹,

Postgraduate Student of the Department of Environmental Monitoring and Protected Area
e-mail: vadim.gololobov@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-0086-0303>

O. O. GOLOLOBOVA¹, PhD (Agriculture),

Associate Professor of the Department of Environmental Monitoring and Protected Area
e-mail: elena.gololobova@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5558-2114>

V. N. Karazin Kharkiv National University,
4, Svobody Square, Kharkiv, 61022, Ukraine

BIOPREPARATIONS APPLICATION IN AESCULUS HIPPOCASTANUM PLANTINGS

Purpose. To determine the effectiveness of integrated biological protection of urban chestnut (*Aesculus Hippocastanum* L.) plantations affected by chestnut borer and rust.

Methods. Field, laboratory, method of photofixation of the results of the field experiment.

Results. The positive effect of treatment with biological products on the phytosanitary condition of chestnut leaves was established, which was confirmed by photographic fixation and analysis of the content of photosynthetic pigments. In unaffected treated leaves, the nitrogen content is almost twice as high as in the leaves of untreated chestnuts, which is an important factor for plant growth and development. Increased absorption of macronutrients (phosphorus, potassium) and trace elements (iron, cobalt, copper, zinc) in untreated trees is a mechanism of adaptation to stress caused by pests and diseases.

Conclusions. Thanks to the combination of biological products with fungicidal, insecticidal and acaricidal action, it is possible to effectively reduce and control the phytosanitary condition of urban plantings.

KEY WORDS: *biological protection, green infrastructure, phytopathological condition, plant diseases, pests, photosynthetic pigments*

References

1. Maksymenko, N.V., & Burchenko, S.V. (2019). Theoretical Basis of the Green Infrastructure Strategy: International Experience. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (31), 16-25. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-31-02> (in Ukrainian)
2. Meshkova, V.L., Turenko, V.P. & Baidyk H.V. (2014). Adventitious pests in the forests of Ukraine. *Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series "Phytopathology and Entomology"*, (1-2), 112-121. Retrieved from <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/20465> (in Ukrainian)
3. Snidalov, M.V. (2023). Chestnut mine moth in the "Park of Veterans" in the village of Dokuchaevske, Kharkiv district, Kharkiv region: bachelor's thesis: specialty 202 - Plant protection and quarantine; scientific supervisor G.V. Baidyk. Kharkiv: SBTU. Retrieved from <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/50416> (in Ukrainian).
4. Khalepa, K.R. (2024). Chestnut moth in the Dendrological Park of the State Biodiversity Technical University of Kharkiv District, Kharkiv Region: bachelor's thesis: specialty 2024 - Plant protection and quarantine; scientific supervisor Y.V. Koshelyaeva. Kharkiv: DBTU. Retrieved from <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/58495> (in Ukrainian).
5. Sonko, S.P., Pushkarova-Bezdi, T.M., Sukhanova, I.P., Vasilenko, O.V., Gursky, I.M. & Bezdi, R.V. (2017). The problem of utilization of felling leaves of cities and wastes of animal-farming farm and ways of its solutions. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (27), 143-154. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2017-27-16> (in Ukrainian).
6. Evans, H.E. & Oszak T. (Eds.). (2007). Alien Invasive Species and International Trade. Published by Forest Research Institute, Sekocin Stary Poland. Warsaw 2007. Retrieved from <https://journals.pan.pl/dlibra/publication/135534/edition/118497/content>
7. Chumak, P.Y. & Kovalchuk, V.P. (2013). Ecologically safe protection of plants from invasive pests in urban areas. *Scientific Bulletin of the UNFU*, (17), 79-85. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologichno-bezpechniy-zahist-roslin-vid-invazyynih-shkidlivih-organizmiv-v-umovah-mista> (in Ukrainian).
8. Chumak, P.Y., Vigera, S.M. & Sykalo, O.O. (2005). American Echinothrips (*Echinothrips americanus* Morgan, Thysanoptera: Thripidae) in the greenhouses of the Fomin Botanical Garden and biological measures to limit its number. *Plant Quarantine and Protection*, (12), 12-13. (in Ukrainian).
9. Baliuk, S., Miroshnichenko, M. & Truskavetskyi, R. (2023). Land use and protection Program (soil and agrochemical aspects). Kyiv: Agrarna nauka. (in Ukrainian).
10. Stankevych, S.V., Polozhenets, V.M., Nemerytska, L. V., Zhuravska, I. A., & Baryshnikov, M. A. (2022). Biological preparations for plant protection and technical means of their application. Ruta Publishing House. Retrieved from <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/24133> (in Ukrainian).
11. Wong, M.Y., Kwan, Y.M. & Sathyapriya, H. (2024). Utilization of Biodiversity for Sustainable Plant Disease Management. In: Wong, M.Y. (Ed.) *Advances in Tropical Crop Protection*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-59268-3_12
12. Sharma, M., Tarafdar, A., Ghosh, R. & Gopalakrishanan, S. (2017). Biological Control as a Tool for Eco-friendly Management of Plant Pathogens. In: Adhya, T., Mishra, B., Annapurna, K., Verma, D., Kumar, U. (Eds.). *Advances in Soil Microbiology: Recent Trends and Future Prospects. Microorganisms for Sustainability*, vol 4. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7380-9_8
13. Jaiswal, D.K., Gawande, S.J., Soumia, P.S., Krishna, R., Vaishnav, A., & Ade A. B. (2022). Biocontrol strategies: an eco-smart tool for integrated pest and diseases management. *BMC Microbiol* 22, 324. <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02744-2>
14. Babbal, Adivitiya & Khasa, Y.P. (2017). Microbes as Biocontrol Agents. In: Kumar, V., Kumar, M., Sharma, S., Prasad, R. (Eds.). *Probiotics and Plant Health*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3473-2_24
15. Da Silva Folli-Pereira, M., Bertolazi, A.A., Garlet, J., Passamani L. Z., de Souza, S.B., Costa F. S.F. & Ramos, A.C. (2022). Microorganisms as Biocontrol Agents of Pests and Diseases. In: Arora, N.K., Bouizgarne, B. (Eds.). *Microbial BioTechnology for Sustainable Agriculture, 1. Microorganisms for Sustainability*, 33. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4843-4_4
16. Zhuykov, O.G. (2022). Biological method of plant protection in modern organic agriculture of Ukraine: historical aspects, trends, prospects. *Agrarian innovations*, (12), 23-27. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.12.4> (in Ukrainian).
17. Kovtun, O. & Triguba, I. (2024). Prospects for the application of the biological method in national plant protection systems. *Bulletin of Lviv National University of Life and Environmental Sciences. Series "Agronomy"*, (28), 160-165. <https://doi.org/10.31734/agronomy2024.28.160> (in Ukrainian).

18. Markovska, O.E., Dudchenko, V.V., Krivutskyi, R.M. (2024). Productivity of pea varieties with the use of bioinoculants and biopesticides Plant protection and quarantine in the XXI century: problems and prospects. *Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference dedicated to the anniversary dates of the birth of prominent phytopathologists*, (Kharkiv, October 17-18. Zhytomyr: Ruta Publishing House, 223-226. Retrieved from https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/58593/1/Konf_Zakhyst_karantyn_roslyn_2024-223-226.pdf (in Ukrainian).
19. Lapchynskiy, V.V. (2023). Biological preparations as a step towards sustainable development in agriculture. *Proceeding International Scientific and Practical Conference: Digital transformation and technologies for sustainable development all branches of modern education, science and practice*, January 26, 2023. International Academy Applied Sciences in Lomza (Poland); State Biotechnological University (Ukraine). Publishing house: MANS w Łomży, Lomza, Poland. Part 2, 225-228. Retrieved from <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/29424>
20. Global experience in the use of biological plant protection and prospects for Ukraine. Retrieved from <https://agro.dn.gov.ua/wp-content/uploads/2022/10/Biokontrol.-ITI-Biotehnika-NAAN-Ukrayiny.pdf> (in Ukrainian).
21. Biological method of plant protection as an important tool for the transition to organic and ecological farming: application practice and prospects for Ukraine. Retrieved from http://naas.gov.ua/news/?ELEMENT_ID=6416 (in Ukrainian).
22. Gololobova, O.O, Telegina, N.E. & Tolstyakova V.V. (2015). Effect of silicon- potassium foliar application on content of nutrients and the detox-effect in urban green areas. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, (3-4), 103-109. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/5563> (in Ukrainian).
23. Gololobova, O., Telegina, N., & Tolstyakova, V. (2017). Detox Effect from Si-K Foliar Top-Dressing in Green Urban Plantations of *Aesculus Hippocastanum* L. and *Tilia cordata* Mill. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*, (1). Retrieved from <https://agrobiodiversity.uniag.sk/scientificpapers/article/view/43>
24. BTU. Retrieved from <https://btu-center.com/about/> (in Ukrainian).
25. Ishchuk, L.P. & Ishchuk, G.P. (2020). Analysis of the pigment apparatus of leaves of some species and cultivars of the family Salicaceae Mirb. in connection with air pollution in the conditions of Bila Tserkva. *Ecological sciences: scientific and practical journal*, 5(32), 91-95. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.5-32.13> (in Ukrainian).
26. Domanos, I., Kis, M., Gombos, Z. & Ughy, B. (2013). Carotenoids, versatile components of oxygenic photosynthesis. *Prog Lipid Res*, 52(4), 539-561. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2013.07.001>
27. Tripathi, D., Singh, S., Gaur, S., Singh, S., Yadav, V., Liu, S., Singh, V., Sharma, S., Srivastava, P., Prasad, S., Dubey, N., Chauhan, D. & Sahi, S. (2018). Acquisition and Homeostasis of Iron in Higher Plants and Their Probable Role in Abiotic Stress Tolerance. *Frontiers in Environmental Science*. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2017.00086>
28. Roychoudhury, A., & Chakraborty, S. (2022). Cobalt and molybdenum: Deficiency, toxicity, and nutritional role in plant growth and development. In *Plant Nutrition and Food Security in the Era of Climate Change*. Academic Press, 255-270. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822916-3.00021-4>
29. Lorenzetti E., Stangarlin, J. R., Carvalho, J. C., Hendges, C., ... Cecatto Júnior R. (2021). Calcium, copper, manganese and zinc and plant diseases: a review. *Australian Journal of Crop Science*, 15(05), 638- 642. <https://doi.org/10.21475/ajcs.21.15.05.p2845>
30. Sánchez-Sanuy, F., Mateluna-Cuadra, R., Tomita, K., Okada, K., Sacchi, G. A., Campo, S., & San Segundo, B. (2022). Iron Induces Resistance Against the Rice Blast Fungus *Magnaporthe oryzae* Through Potentiation of Immune Responses. *Rice*, 15, 68. <https://doi.org/10.1186/s12284-022-00609-w>
31. Ortel, C. C., Roberts, T. L., & Rupe, J. C. (2024). A review of the interaction between potassium nutrition and plant disease control. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 7, e20489. <https://doi.org/10.1002/agg2.20489>
32. Maksymenko, N.V., Gololobova, O.O., Sonko, S. P., Stolov, V.O., Shiyan, D.V. (2024). Utilization of vegetative waste from green infrastructure of cities “in-situ”. ICSF-2024. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 1415. 012127. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012127>

The article was received by the editors 05.02.2025

The article is recommended for printing 14.03.2025

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-07>

УДК: 504.5:628.3

З. В. ЛАВРИНЮК¹, канд. хім. наук, доц.,
доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища
e-mail: lavrynyuk.zoryana@vnu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1906-3330>

О. А. КАРАЇМ¹, канд. екон. наук, доц.,
доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища
e-mail: olha.karaim@vnu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1722-4110>

В. Т. ДУБЕНСЬКА¹,
здобувачка другого рівня вищої освіти
e-mail: dubenska2003@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-0280-9029>

¹Волинський національний університет імені Лесі Українки,
просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., 43025, Україна

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ БІОВУГІЛЛЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД

Мета. Дослідження ефективності використання біовугілля як сорбенту для очищення стічних вод від органічних і неорганічних забруднювачів на процес адсорбції, а також оцінка екологічної доцільності та можливості повторного використання біовугілля у технологіях водоочищення.

Методи. Експериментальний, адсорбційної атомної спектроскопії на приладі *UNICAM Solaar 939*, статистичний.

Результати. Досліджено вплив початкової концентрації, рН середовища, дози сорбенту та часу контакту. Встановлено, що сильна адсорбція забруднювачів на біовугіллі у водних розчинах зменшує мобілізацію забруднюючих речовин і допомагає зменшити ризик, пов'язаний з токсичними хімікатами та їх побічними продуктами, що присутні у стічних водах та можуть негативно впливати на навколишнє середовище. Значення рН середовища значною мірою впливає на поверхневий заряд і специфікацію хімічних речовин у всіх сорбентах біовугілля. Високі концентрації забруднень ускладнюють повне видалення. Використання біовугілля видаляє забруднення найкраще в умовах низьких початкових концентрацій забруднень. Ефективність очищення підвищується з часом контакту, що пов'язано з тривалістю процесу між біовугіллем і забрудником. Але надмірне збільшення часу може призвести до насичення, що обмежить ефективність видалення забруднень. Підтверджено також екологічну безпеку використання біовугілля та його придатність до багаторазового застосування з мінімальною втратою сорбційних властивостей.

Висновки. Встановлено, що біовугілля є ефективним сорбентом для видалення забруднювачів із водних розчинів завдяки своїм фізико-хімічним властивостям: великій питомій поверхні, розвиненій пористості та наявності активних функціональних груп. Біовугілля є перспективним матеріалом для впровадження в системи очищення стічних вод у промисловості, сільському господарстві та побуті.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: забруднення води, адсорбція, біовугілля, очистка стічних вод, концентрація, рН.

Як цитувати: Лавринюк З. В., Караїм О. А., Дубенська В. Т. Екологічні аспекти використання біовугілля для очистки стічних вод. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2025. Вип. 32. С. 101–109. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-07>

Incites: Lavrynyuk, Z. V., Karaim, O. A., & Dubenska, V. T. (2025). Environmental principles of using biocharol for wastewater treatment. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (32), 101–109. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-07> (in Ukrainian)

Вступ

Забруднення стічних вод є серйозною екологічною проблемою, що загрожує водним ресурсам, екосистемам і здоров'ю населення. Традиційні методи очищення не завжди є ефективними, економічно вигідними чи екологічно безпечними. У цьому контексті використання біовугілля, як природного сорбенту, набуває особливої актуальності. Біовугілля, виготовлене з відновлюваних джерел біомаси, має високу здатність до адсорбції органічних та неорганічних забруднювачів, може бути регеноероване та повторно використане, що робить його перспективним матеріалом для сталих систем очищення води. Дослідження екологічних переваг та ефективності біовугілля у водоочищенні сприяє розвитку «зелених» технологій та впровадженню екологічно безпечних рішень у сфері водопідготовки [1 - 5].

Упродовж останніх років біовугілля привертає значну увагу науковців як перспективний, екологічно безпечний та економічно вигідний сорбент для очищення стічних вод. Сучасні дослідження зосереджуються на вдосконаленні властивостей біовугілля, його модифікації та інтеграції з іншими технологіями для підвищення ефективності видалення забруднювачів [2, 6]. Зокрема, автори [7] дослідили процеси видалення важких металів шляхом сорбції з використанням біовугілля. Автори [8] довели ефективність використання нанокompозитів на основі біовугілля для очищення навколишнього середовища. У працях [9 - 11] подано резуль-

тати дослідження механізмів та адсорбційних можливостей біовугілля для видалення органічних та неорганічних забруднювачів з промислових стічних вод. Дослідження, проведене авторами [12], показало, можливості модифікації поверхні біовугілля для ефективного видалення барвників зі стічних вод. Завдяки магнітним властивостям нове магнітне біовугілля ефективно сорбує органічні забруднювачі та фосфати, сорбент легко виділяється з очищеної води [13].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Аналіз сучасних робіт свідчить про наявність розвинутої теоретичної та практичної бази щодо застосування інноваційних методів очистки стічних вод [9 -11, 14 -17], використання ж біовугілля як сорбента для очистки є актуальним через його екологічність. Проте недостатньо досліджень, які б інтегрували біологічні, фізико-хімічні умови для локальних умов. Це обумовлює актуальність нашого дослідження, адаптованого до специфіки місцевих стічних вод.

Метою роботи є дослідження ефективності використання біовугілля як сорбенту для очищення стічних вод від органічних і неорганічних забруднювачів, з урахуванням впливу різних факторів (початкової концентрації, рН середовища, дози сорбенту та часу контакту) на процес адсорбції, а також оцінка екологічної доцільності та можливості повторного використання біовугілля у технологіях водоочищення.

Об'єкти та методи дослідження

У дослідженні використано експериментальний підхід для визначення ефективності біовугілля як сорбенту при очищенні водних розчинів від забруднювачів.

У якості барвника використано малахітовий зелений – триарилметановий барвник, хімічна формула – $C_{23}H_{25}ClN_2$. Це хімічна сполука з характерним зеленим кольором. Його можна використовувати для нейтралізації певних хімічних забруднювачів за допомогою процесів окислення або зв'язування, що призводить до зменшення їх токсичності або мобільності в навколишньому середовищі. Також малахітовий зелений часто застосовують для фарбування у текстильній промисловості.

У першому експерименті приготовано 5 проб з різною концентрацією барвника. До колб об'ємом 250 мл, у кожену з яких внесли по 0,1 г біовугілля, додавали по 20 мл водних розчинів барвника з концентрацією від 5 до 100 мг/дм³. Ці розчини готували шляхом розчинення 0,0251 г барвника у мірній колбі на 250 мл з дистильованою водою, після чого суміш ретельно перемішували. Із приготованого розчину автоматичною піпеткою відбирали 10 мкл і переносили в колби місткістю 100 мл. Зразки струшували протягом 120 хвилин, після чого фільтрували. Визначення залишкових концентрацій проводили методом адсорбційної атомної спектроскопії за допомогою приладу UNICAM Solaar 939.

У другому – підготовлено 5 розчинів з різним вмістом біовугілля: у п'ять колб об'ємом 100 мл додавали по 20 см³ модельного розчину та різні кількості біовуглецю (від 0,01 до 0,5 г). Зразки струшували протягом 120 хвилин, після чого фільтрували. Залишкову концентрацію барвника малахітового зеленого контролювали за допомогою спектроскопії.

У третьому – виготовлено 3 розчини з різними значеннями pH: 20 мл модельного водного розчину (pH в діапазоні 4–8) додавали в колби об'ємом 100 мл, що містили 0,1 г біовуглецю. Зразки струшували протягом 120 хв і фільтрували. Адсорбцію перевіряли методом спектроскопії.

У четвертому – відібрано 8 проб для оцінки впливу часу контакту біовугілля з розчином. У колби об'ємом 250 мл, що містили по 0,1 г біовуглецю, додавали по 200 мл модельного розчину з концентрацією 20 мг/дм³. Зразки струшували впродовж різного часу (від 0 до 120 хвилин), після чого фільтрували. Концентрацію забруднювача у фільтраті визначали методом адсорбційної атомної спектроскопії з використанням приладу UNICAM Solaar 939.

Усі зразки перемішували в шейкер-інкубаторі (рис. 1. а, б) (для підтримання рівномірного змішування середовища протягом інкубації) та аналізували на вміст барв



Рис. 1 – Шейкер-інкубатор 4800-10 contro (а); досліджувані зразки після перемішування у шейкер-інкубаторі (б)

Fig. 1 – 4800-10 Contro shaker-incubator (a); investigated samples after mixing in the shaker-incubator (b)

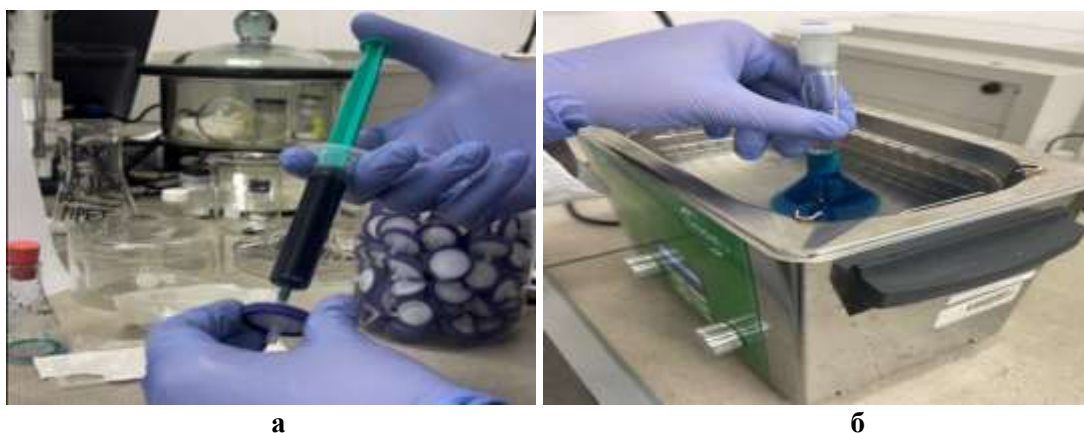


Рис. 2 – фільтрування розчинів через шприцевий фільтр (а); видалення бактеріального забруднення за допомогою ультразвуку (б)

Fig. 2 – filtration of solutions through a syringe filter (a); removal of bacterial contamination using ultrasound (b)

ника за допомогою спектрофотометра UNICAM Schar 237. Наважки біовугілля здійснювали на аналітичних вагах з точністю до четвертого знаку після коми. Фільтрування здійснювали через шприцевий фільтр (рис. 2, а, б).

Основні етапи дослідження включали: підготовку розчинів барвника малахітового зеленого з різною початковою концентрацією; застосування біовугілля у різних дозах (0,01–0,5 г) для дослідження впливу маси сорбенту на ефективність очищення; вивчення впливу рН середовища (діапазон 4–8) на процес адсорбції; оцінку впливу часу конта-

кту (0–120 хвилин) на інтенсивність видалення забруднювача; фільтрацію зразків після завершення кожного етапу експерименту; визначення залишкової концентрації забруднювачів за допомогою адсорбційної атомної спектроскопії на приладі UNICAM Solaar 939. Методика дозволила кількісно оцінити вплив кожного параметра на ефективність процесу очищення та провести аналіз отриманих результатів з метою виявлення оптимальних умов адсорбції. Отримані дані піддавали статистичній обробці з розрахунком середніх значень, побудовою графіків та кореляційним аналізом.

Результати та обговорення

Біовугілля – це багата на вуглець тверда речовина, яку отримували шляхом термічної обробки біомаси в середовищі з обмеженим вмістом кисню. Його можна змінити, щоб покращити структурні та електрохімічні властивості, додавши пористості, збільшивши площу поверхні, покращивши графітизацію або змінивши функціональність поверхні шляхом легування гетероатомами. Усі ці властивості біовуглецю надзвичайно корисні для використання його для зберігання водню або для зберігання енергії (у батареях і суперконденсаторах) [12].

Хімічний склад біовуглецю дуже різноманітний і багато в чому залежить від хімічного складу субстратів, того, як відбувається піроліз, а також від параметрів процесу. Відносно стабільний органічний вуглець, що

вилугується, і зола складають біовуглець. Вони містять аліфатичні сполуки, окислені сполуки вуглецю та ароматичні сполуки, які легко розкладаються. Біовугілля та інші модифіковані форми використовуються для очищення стічних вод сільського господарства. Виявлено високу адсорбцію поширених пестицидів біовугіллям, отриманим шляхом піролізу рисового лушпиння з попередньою кислотною обробкою. У першу чергу адсорбційна здатність біовугілля залежить від його об'єму пор і рН [18 - 20].

Вплив початкової концентрації забруднення на ефективність його видалення. Ефективність ступеня видалення забруднення в залежності від його початкової концентрації в розчині з застосуванням біовугілля зазначено на рис. 3. На основі результатів

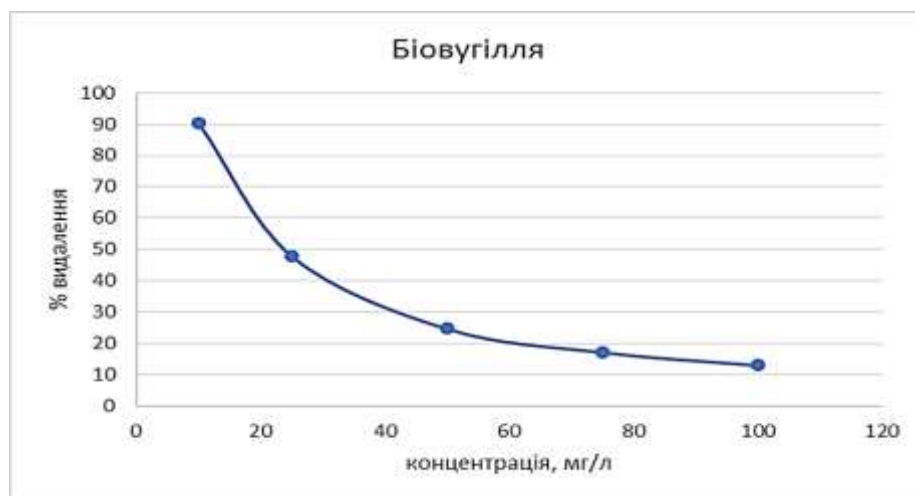


Рис. 3 – Вплив початкової концентрації забруднення на ефективність видалення забруднення

Fig. 3 – Influence of initial pollutant concentration on removal efficiency

дослідження можна констатувати: що при зменшенні концентрації забруднення ефективність видалення цього забруднення із застосуванням біовугілля покращується.

Вплив дози біовугілля на ефективність видалення забруднення. Доза сорбенту є важливим чинником, що впливає на ефективність видалення малахітового зеленого із водного розчину під час сорбції. Більша кількість сорбенту забезпечує більшу площу контакту та питому поверхню, що сприяє інтенсивнішому поглинанню барвника.. Залежність ефективності видалення

забруднення від дози біовугілля представлено на рис. 4. Отже, зі збільшенням дози біовугілля ефективність вилучення забруднення з водного розчину підвищується. Подальше збільшення дози сорбенту не призвело до подальшого зниження концентрацій забруднення у розчині. Доза біовугілля, за якої ефективність видалення забруднення визначена найвищою (89%, 91%, 93% 92%, відповідно) становила 0,2 г.

Ефективність вилучення забруднення залежно від значення рН водного розчину. На рисунку 5 подано діаграму ефе-

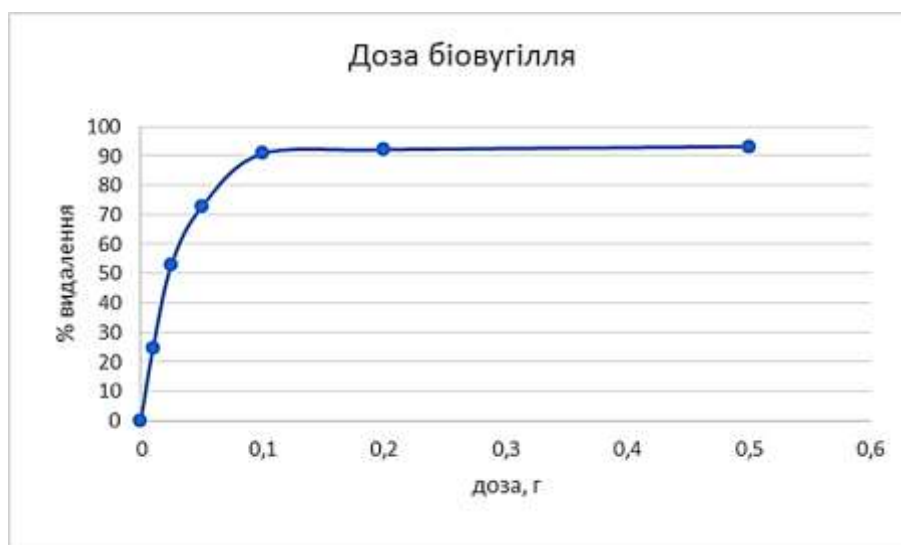


Рис. 4 – Ефективність ступеня видалення забруднення з водного розчину в залежності від дози біовугілля

Fig. 4 – Efficiency of pollutant removal from the aqueous solution depending on the biochar dose

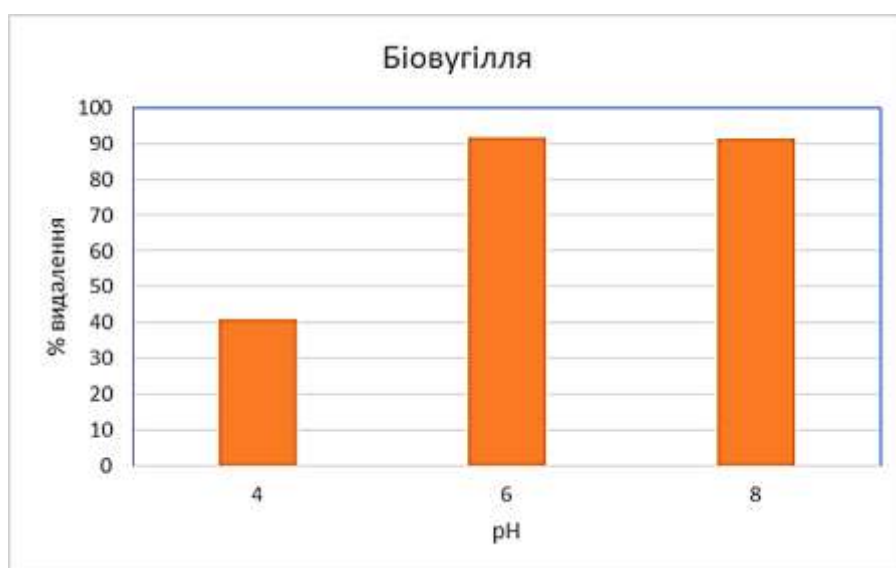


Рис. 5 – Ефективність вилучення забруднення залежно від значення рН водного розчину

Fig. 5 – Pollutant removal efficiency depending on the pH value of the aqueous solution

ктивності вилучення забруднення від рН, визначено, що в діапазоні рН-4-8 відбувається вилучення забруднення з модельного водного розчину за допомогою біовугілля. Спостерігається поступове зростання ефективності вилучення забруднення, що за рН 6 та 8 досягала свого максимального значення.

Ефективність ступеня видалення забруднення в залежності від часу контакту показано на рис. 6. Аналізуючи ефекти, зображені на графіку, показали, що зі збільшенням часу контакту ефективність видалення забруднювача малахітового зеленого зростала до тих пір, поки в цьому випадку не встановився стан адсорбційної рівноваги 60-120 хв.

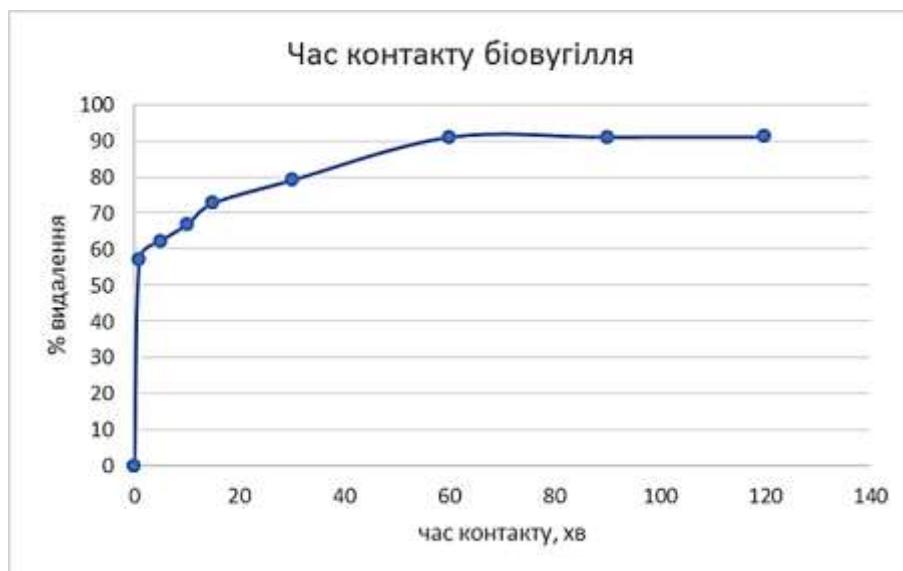


Рис. 6 – Ефективність ступеня видалення забруднення в залежності від часу контакту
Fig. 6 – Efficiency of pollutant removal depending on contact time

Висновки

Сильна адсорбція барвника малахітового зеленого на біовугіллі допомагає зменшити його концентрацію у стічних водах, що відповідно, знижує екологічні ризики, пов'язані з хімічними забруднювачами такого типу.

РН середовища значно впливає на якість видалення малахітового зеленого.

Високі концентрації барвника ускладнюють досягнення повного видалення. Найефективніше очищення досягається при низьких початкових концентраціях малахітового зеленого.

Збільшення часу контакту між біовугіллям і барвником підвищує ефективність

очищення, оскільки продовжується процес їх взаємодії. Однак надмірне збільшення часу може призвести до насичення сорбенту і, як наслідок, зменшити ефективність.

Встановлено, що біовугілля є ефективним сорбентом для видалення забруднювачів із водних розчинів завдяки своїм фізико-хімічним властивостям: великій питомій поверхні, розвиненій пористості та наявності активних функціональних груп. Біовугілля є перспективним матеріалом для впровадження в системи очищення стічних вод у промисловості, сільському господарстві та побуті.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Василюк О. В., Шматков А. А. Використання біовугілля для очищення стічних вод. *Екологічна безпека та природокористування*. 2021. 2. С. 45–52.
2. Dalahmer S, Fhrens L. et al. Potential of biochar filters for onsite sewage treatment: Adsorption and biological degradation of pharmaceuticals in laboratory filters with active, inactive and no biofilm. *Science of the Total Environment*. 2018. 612, 192–201. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.178>
3. Loeb sack G., Yeungen K., Berruti F., Klinghoffer N. Impact of biochar physical properties on adsorption mechanisms for removal of aromatic aqueous contaminants in water. *Biomass and Bioenergy*. 2025. 194. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2025.107617>
4. Ding Y. et al. Competitive removal of Cd(II) and Pb(II) by biochars produced from water hyacinths: performance and mechanism. *RSC Advances*. 2016. 6(7). 5223–5232. DOI: <https://doi.org/10.1039/c5ra26248h>
5. Deng S., Chen J., Chang J. Application of biochar as an innovative substrate in constructed wetlands/biofilters for wastewater treatment: Performance and ecological benefits. *Journal of Cleaner Production*. 2021. 293. 126156. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126156>
6. Peres-Mercado L., Lalander C. et al. Potential of Biochar Filters for Onsite Wastewater Treatment: Effects of Biochar Type, Physical Properties and Operating Conditions. 2018. 10(12). 1835. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10121835>
7. Kulbir Singh, Chhotu Ram, Sadiq Abdullahi Waziri. Removal of Heavy Metals by Adsorption using Agricultural based Residue: A Review. *Research Journal of Chemistry and Environment*. 2018. 22(5). 66–74. DOI: <https://www.researchgate.net/publication/327282916>
8. Kumar A., Dabodiya T. S., Ramamoorthy D. Biochar-Based Nanocomposites for the Removal of Organic Environmental Contaminants. 2023. 85–92. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-28873-9_7
9. Ambaye T. G, Vaccari M. (2020). Mechanisms and adsorption capacities of biochar for the removal of organic and inorganic pollutants from industrial wastewater. *International Journal of Environmental Science and Technology*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-020-03060-w>
10. Wang X, Guo Z, Hu Z, Zhang J. Recent advances in biochar application for water and wastewater treatment: a review. *PeerJ* 8:e9164.2020. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.9164>
11. Salman M. Application of Engineered Biochar for Wastewater Treatment: A Way Forward to Environmental Pollution Remediation. *Catalytic Applications of Biochar for Environmental Remediation: A Green Approach Towards Environment Restoration*. 2024. 1(12), 265–290. DOI: <https://doi.org/10.1021/bk-2024-1478.ch012>
12. Goswami L., Kushwaha A. Surface Modification of Biochar for Dye Removal from Wastewater. *Catalysts*. 2022. 12(8). 812. DOI: <https://doi.org/10.3390/catal12080817>
13. Chen B., Chen Z., Lv S. A novel magnetic biochar efficiently sorbs organic pollutants and phosphate. *Bioresource Technology*. 2011. 102(2). 716–723. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.08.067>
14. Farid M. A. et al. A holistic treatment system for palm oil mill effluent by incorporating the anaerobic-aerobic-wetland sequential system and a convective sludge dryer. *Chemical Engineering Journal*. 2019. 369. 195–204. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.03.033>
15. J.-B. Chai et al. Adsorption of heavy metal from industrial wastewater onto low-cost Malaysian kaolin clay-based adsorbent. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. 27(12). 13949–13962. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07755-y>
16. M. R. F. Banu et al. Biochar: A Black Carbon for Sustainable Agriculture. *International Journal of Environment and Climate Change*. 2023. 13(6). 418–432. DOI: <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i61840>
17. G. Palani et al. Current Trends in the Application of Nanomaterials for the Removal of Pollutants from Industrial Wastewater Treatment—A Review. *Molecules*. 2021. 26(9). 2799. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26092799>
18. Lehmann J., Joseph S. Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation. 2nd ed. London : Routledge, 2015. 928 p. URL: https://biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/11/prelim_ch1_2015biocharforenvironmentalmanagement_text.pdf
19. Xie T, R. Reddy K., Wang C., Yargicoglu E., Spokas K. Characteristics and Applications of Biochar for Environmental Remediation: A Review. *Critical Reviews In Environmental Science and Technology*. 2014. 45(9), 939–969. DOI: <https://doi.org/10.1080/10643389.2014.924180>
20. Foong S.Y. et al. Acing wastewater treatment with engineered biochar from microwave-assisted approach - A comprehensive review. *Environmental Technology & Innovation*. 2024. 36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103835>

Z. V. LAVRYNYUK¹, PhD (Chemistry), Associate Prof.,
Associate Professor of the Department of Ecology and Protection of Environment,
e-mail: lavrynyuk.zoryana@vnu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1906-3330>

O. A. KARAIM¹, PhD (Economics), Associate Prof.,
Associate Professor of the Department of Ecology and Protection of Environment,
e-mail: olha.karaim@vnu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1722-4110>

¹Lesya Ukrainka Volyn National University,
13 Voli Ave., Lutsk, Volyn region, 43025, Ukraine

V. T. DUBENSKA¹,
Master's Student,
e-mail: dubenska2003@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-0280-9029>

ENVIRONMENTAL PRINCIPLES OF USING BIOCHAROL FOR WASTEWATER TREATMENT

Purpose. To study the effectiveness of using biochar as a sorbent for wastewater treatment from organic and inorganic pollutants on the adsorption process, as well as to assess the environmental feasibility and possibility of reusing biochar in water treatment technologies.

Methods. Experimental, adsorption atomic spectroscopy on the UNICAM Solaar 939 device, statistical.

Results. The influence of the initial concentration, pH of the medium, sorbent dose and contact time was studied. It was found that strong adsorption of pollutants on biochar in aqueous solutions reduces the mobilization of pollutants and helps reduce the risk associated with toxic chemicals and their by-products that are present in wastewater and can negatively affect the environment. The pH value of the medium significantly affects the surface charge and specification of chemicals in all biochar sorbents. High concentrations of pollutants complicate complete removal. The use of biochar removes contaminants best in conditions of low initial concentrations of contaminants. The efficiency of purification increases with the contact time, which is associated with the duration of the process between biochar and the contaminant. However, an excessive increase in time can lead to saturation, which will limit the efficiency of contaminant removal. The ecological safety of the use of biochar and its suitability for repeated use with minimal loss of sorption properties have also been confirmed.

Conclusions. It has been established that biochar is an effective sorbent for the removal of contaminants from aqueous solutions due to its physicochemical properties: large specific surface area, developed porosity and the presence of active functional groups. Biochar is a promising material for implementation in wastewater treatment systems in industry, agriculture and everyday life. Key words: water pollution, adsorption, biochar, wastewater, concentration, pH.

References

1. Vasilyuk O. V., Shmatkov A. A. (2021). Use of biochar for wastewater treatment. Ecological safety and nature management. 2. 45-52. (in Ukrainian).
2. Dalahmer, S, Fhrens, L. (2018). Potential of biochar filters for onsite sewage treatment: Adsorption and biological degradation of pharmaceuticals in laboratory filters with active, inactive and no biofilm. *Science of the Total Environment*, 612, 192–201. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.178>
3. Loeb sack, G., Yeungen, K., Berruti, F., Klinghoffer N. (2025). Impact of biochar physical properties on adsorption mechanisms for removal of aromatic aqueous contaminants in water. *Biomass and Bioenergy*. 194. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2025.107617>
4. Ding, Y. (2016). Competitive removal of Cd(ii) and Pb(ii) by biochars produced from water hyacinths: performance and mechanism. *RSC Advances*. 6(7). 5223–5232. <https://doi.org/10.1039/c5ra26248h>
5. Deng, S., Chen, J., Chang, J. (2021). Application of biochar as an innovative substrate in constructed wetlands/biofilters for wastewater treatment: Performance and ecological benefits. *Journal of Cleaner Production*. 293. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126156>
6. Peres-Mercado L., Lalander C. (2018). Potential of Biochar Filters for Onsite Wastewater Treatment: Effects of Biochar Type, Physical Properties and Operating Conditions. 10(12). 1835. <https://doi.org/10.3390/w10121835>
7. Kulbir Singh, Chhotu Ram, Sadiq Abdullahi Waziri. (2018). Removal of Heavy Metals by Adsorption using Agricultural based Residue: A Review. *Research Journal of Chemistry and Environment* https://doi.org/10.3390/w10121835. 22(5). 66–74. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/327282916>

8. Kumar, A., Dabodiya, T.S., Ramamoorthy, D. (2023) Biochar-Based Nanocomposites for the Removal of Organic Environmental Contaminants, 85-92. https://doi.org/10.1007/978-3-031-28873-9_7
9. Ambaye T. G, Vaccari M. (2020). Mechanisms and adsorption capacities of biochar for the removal of organic and inorganic pollutants from industrial wastewater. *International Journal of Environmental Science and Technology*, <https://doi.org/10.1007/s13762-020-03060-w>
10. Wang X, Guo Z, Hu Z, Zhang J. (2020) Recent advances in biochar application for water and wastewater treatment: a review. *PeerJ* 8:e9164. <https://doi.org/10.7717/peerj.9164>
11. Salman M. (2024). Application of Engineered Biochar for Wastewater Treatment: A Way Forward to Environmental Pollution Remediation. Catalytic Applications of Biochar for Environmental Remediation: A Green Approach Towards Environment Restoration, 1(12), 265-290. <https://doi.org/10.1021/bk-2024-1478.ch012>
12. Goswami, L., Kushwaha, A. (2022). Surface Modification of Biochar for Dye Removal from Wastewater. *Catalysts*, 12(8), 812, <https://doi.org/10.3390/catal12080817>
13. Chen, B., Chen, Z., Lv, S. (2011). A novel magnetic biochar efficiently sorbs organic pollutants and phosphate. *Bioresource Technology*, 102(2), 716–723. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.08.067>
14. Farid, M. A. (2019). A holistic treatment system for palm oil mill effluent by incorporating the anaerobic-aerobic-wetland sequential system and a convective sludge dryer. *Chemical Engineering Journal*, 369, 195–204. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.03.033>
15. J.-B. Chai (2020). Adsorption of heavy metal from industrial wastewater onto low-cost Malaysian kaolin clay-based adsorbent. *Environmental Science and Pollution Research*. 27(12), 13949–13962. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07755-y>
16. M. R. F. Banu. (2023). Biochar: A Black Carbon for Sustainable Agriculture. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(6), 418–432. <https://doi.org/10.9734/ijec/2023/v13i61840>
17. G. Palani et al.(2021). Current Trends in the Application of Nanomaterials for the Removal of Pollutants from Industrial Wastewater Treatment—A Review. *Molecules*, 26(9), 2799. <https://doi.org/10.3390/molecules26092799>
18. Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. 2nd ed. London: Routledge, 928. https://biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/11/prelim_ch1_2015biocharforenvironmentalmanagement_text.pdf
19. Xie,T. R., Reddy, K., Wang, C., Yargicoglu, E.,& Spokas, K. (2014). Characteristics and Applications of Biochar for Environmental Remediation: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 45(9), 939–969. <https://doi.org/10.1080/10643389.2014.924180>
20. Foong, S. Y., Chin, B.L.F., Lock, S.S.M., Yiin,C.L., Tan, Y.H., Zheng,G., Ge,S., Liew, R.K., Lam, S.S. (2024). Acing wastewater treatment with engineered biochar from microwave-assisted approach – A comprehensive review. *Environmental Technology & Innovation*, 36, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103835>

The article was received by the editors 29.04.2025

The article is recommended for printing 01.06.2025

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-08>

УДК (UDC): 504.05:550.42

Ю. В. ВОЙТЕНКО¹, канд. техн. наук,

доцент кафедри безпеки життєдіяльності

e-mail: Juliya.voy.1983@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0819-3794>

К. С. СВИРИДОВА¹,

бакалавр кафедри фізіології та інтродукції рослин

e-mail: katerynasvyrydova372@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-2484-1122>

¹Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

пр-т Науки, 72, м. Дніпро, 49010, Україна

ПІДРИВ КАХОВСЬКОЇ ГЕС: ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ТА РЕМЕДІАЦІЯ ПОШКОДЖЕНИХ ТЕРИТОРІЙ

Мета. Дослідження екологічних наслідків руйнування Каховської ГЕС, аналіз впливу забруднення води для населення, флори та фауни, оцінка впливу на сільське господарство та визначення можливих шляхів відновлення території.

Методи. Системний аналіз, статистичні методи.

Результати. Визначено забруднення води сміттям, нафтопродуктами, хімічними та небезпечними, органічними та біогенними речовинами, а також бактеріями та вірусами. Негативні явища, як відтік води та затоплення завдали масштабних збитків не лише населенню, що вимушені евакуюватися через загрозу для життя, але й економіці країни, яка постраждала у результаті ураження сільськогосподарських угідь. Зокрема показано зниження площі зрошуваних земель і, як наслідок, скорочення загального виробництва сільськогосподарських культур, таких, як овочі, зернові та зернобобові, олійні культури, тощо. Трагедія також спричинила загибель великої кількості представників рослинного та тваринного світу через значне затоплення території. Розглянуті перспективні шляхи з подолання екологічних наслідків цієї катастрофи. Невідкладними завданнями є застосування методів відновлення угідь в залежності від екологічних умов та доступних ресурсів.

Висновки. Визначено значний негативний вплив як на елементи довкілля, включаючи водні об'єкти та ґрунти, так і на економічний розвиток країни за рахунок ураження сільськогосподарських угідь. Доведено важливість завдання застосування засобів щодо відновлення пошкоджених територій, включаючи методи біологічної ремедіації, геоінженерії та технології карбонатної мінералізації.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Каховська ГЕС, екологічна катастрофа, флора, фауна, забруднення води, затоплення, ремедіація території.

Як цитувати: Войтенко Ю. В., Свиридова К. С. Підрир Каховської ГЕС: екологічні наслідки та ремедіація пошкоджених територій. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2025. Вип. 32. С. 110 - 123. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-08>

In cites: Voitenko Y. V., & Svyrydova, K. S. (2025). Undermining of Kakhovka HPP: environmental consequences and remediation of damaged territories. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (32), 110 - 123. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-08> (in Ukrainian)

Вступ

Однією з найбільших рукотворних екологічних катастроф за останні десятиліття вважається підрир греблі Каховського водосховища російськими окупантами, здійснений 6

червня 2023 року. Він створив загрозову небезпеку для українських громадян у населених пунктах по обидва береги р. Дніпра нижче Каховського водосховища, а також посилив

© Войтенко Ю. В., Свиридова К. С., 2025



[This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Урядом України вжито низку невідкладних заходів для збереження здоров'я людей в зоні катастрофи та в місцях їх проживання. Щоб не допустити спалахів інфекційних хвороб, до зони надзвичайної ситуації доставили 148 тисяч тонн питної і технічної води, роздали 237 тисяч таблеток для її знезараження [2]. Постійну загрозу для цивільного населення в постраждалих районах становили й наземні міни, змиті паводковими водами [3].

Серед природних об'єктів, які постраждали в результаті руйнування греблі Каховської ГЕС, в найбільшому ступеню, слід віднести водні об'єкти, це стосується як русла р. Дніпро, прибережної акваторії Чорного моря, так і існуючих та створених паводком водойм в степовій частині Причорномор'я.

До найбільш потужних забруднень водних об'єктів одне з перших місць займає забруднення їх сміттям, відкладенням. Розрахунки кількості забруднення, що надійшло в водні об'єкти, дало такі результати. Загальний обсяг відходів, змитих внаслідок прориву греблі, становив 1007000 м³ (відповідно до моделі ЮНЕП). За моделлю ПРООН отримане більше число – близько 2894000 м³ змитого сміття [4]. Проте обидві моделі можуть дати лише приблизні оцінки кількості утвореного сміття через неможливість безпосередньо оглянути певні райони на півдні України.

Окрім цього, за різними оцінками в води Чорного моря відразу після прориву надійшло від 150 т до 465 т трансформаторного мастила з Каховської ГЕС [5, 6]. До того ж, окрім викиду великої кількості нафти з Каховської ГЕС, іншими джерелами забруднення стали об'єкти, що розташовані нижче за течією, зокрема: хімічні заводи, нафтобази, нафтосховища, нафтопереробні заводи, склади палива, автозаправні станції, скотомогильники тощо [7]. Варто розуміти, що нафтопродукти мають негативний вплив на здоров'я не лише людей, а й тварин, рослин, біохімічний стан водойм, а також негативно впливають на репродуктивну систему організмів, стан слизових оболонок та на функціонування органів в цілому.

Проведено чисельні дослідження забруднення водних об'єктів хімічними речовинами. Наприклад, дослідження проб донних відкладень з осушеного водосховища і затоплених територій виявило надзвичайно

високу концентрацію хрому та миш'яку [4]. Також за висновками УкрНЦЕМ, 14 червня 2023 року у пробах води і донних відкладень з Дніпра, затоплених районів, Дніпровсько-Бузького лиману і Чорного моря, було зафіксовано перевищення допустимих рівнів концентрації міді (17,9 мкг/л), цинку (44,8 мкг/л) та миш'яку (1,81 мкг/л) [8]. Наступного дня спостерігалось перевищення контрольних значень концентрацій нафтопродуктів, токсичних металів (цинку, кадмію і миш'яку) і хлорорганічних сполук (ліндану і поліхлорованого дифенілу) [9]. Нові проби, взяті 4-5 липня 2023 року, показали швидке зниження концентрації нафтопродуктів, цинку і миш'яку, однак накопичення кобальту перевищувало гранично допустимі концентрації в чотири рази, а концентрація міді залишалася критично високою [10]. За такої умови, у разі тривалої взаємодії з кадмієм, він може накопичуватися в нирках, що призводить до захворювання нирок, крихкості кісток та ураження легенів [11]. А накопичення високотоксичних хлорорганічних сполук у тканинах організму, зокрема ПХБ, призводить до серйозних пошкоджень нервової системи [9].

Щодо зважених речовин у водних об'єктах, аналізуючи отримані результати, станом на 10 червня 2023 року у пробах води з річки Інгулець містилася звичайна концентрація зважених твердих частин, яка була до катастрофи. Проби морської води з Чорного моря показали, що концентрація зважених твердих частин перевищувала нормативи в 1,1-1,6 разів. Наступні проби, взяті 13 червня 2023 року в тих самих районах, показали, що концентрація завислих речовин збільшилася в 1,6-2,6 разів порівняно з допустимими рівнями. Часткова стабілізація показників з періодичними коливаннями почалася з 20 червня 2023 року. Станом на 26 червня 2023 року, концентрація зважених твердих частин перевищувала норму тільки в одній з трьох проб, взятих у Чорному морі [12].

Після катастрофи Міндовкілля повідомило, що внаслідок затоплення були пошкоджені ємності для зберігання рідких добрив (карбамідо-аміачної суміші) на суднобудівному підприємстві ТОВ «Паллада Шип'ярд» в районі міського порту Херсона, що призвело до викиду хімічних речовин у навколишнє середовище, де станом на 23 лютого 2022

року на території підприємства зберігалось 3470,68 тонн добрив [6].

ПП «Полімін-Юг» в Олешках також може бути потенційним забрудником води, адже ресурс Ecodozor класифікує його як «високоризикове» джерело забруднення води і зазначає про затоплення підприємства на максимальну глибину до 5 метрів [13].

Вважаємо, окрім хімічного забруднення необхідне дослідження і органічного забруднення води, яке часто пов'язане саме з продуктами життєдіяльності організмів, що потрапляють на поверхню водойм з каналізаційних систем, ферм та сільськогосподарського сектору. Для визначення забруднення води поживними речовинами досліджується наявність сполук азоту та фосфору. На 7 червня 2023 року концентрація амонію і нітритів у річці Інгулець, зокрема, поблизу Новософіївки та Снігурівки в Миколаївській області, перевищила встановлені допустимі рівні для цих сполук. Проби води, взяті наступної доби, 8 червня 2023 року, з річки Інгулець у районі Снігурівки, зафіксували подальше збільшення і до того підвищених рівнів вмісту амонію і нітритів.

Як результат, високі концентрації амонію в морській і річковій воді в перші дні після прориву вказували на те, що певна кількість води потрапила в море і річки з джерел інтенсивної мінералізації органічних речовин (наприклад, із каналізаційних систем, вигрібних ям, тваринницьких ферм тощо) [14].

Також, з 8 по 17-18 червня 2023 року в УкрНЦЕМ спостерігалася підвищена концентрація біогенних сполук у північно-західній частині Чорного моря: фосфатів (PO₄), нітритів (NO₂), амонійного азоту (NH₄) і силікатів (SiO₄) [9].

Варто зазначити, що приплив значних мас прісної води з розчиненими в ній органічними та біогенними речовинами в північно-західну частину Чорного моря призвів до інтенсивного розвитку ціанобактерій і водоростей у морській воді біля узбережжя Одеської області. Через надходження прісної води з водосховища у північно-західній частині Чорного моря різко збільшилася кількість трьох токсичних ціанобактерій – *Aphanizomenon flos aquae*, *Dolichospermum flos aquae* і *Microcystis aeruginosa* [15].

Окрім перелічених видів забруднення, значну небезпеку становлять бактерії і

віруси, що опинились у водних об'єктах внаслідок катастрофи. Затоплення муніципальних об'єктів (кладовищ, звалищ, туалетів, вигрібних ям, боєнь тощо), а також населених пунктів, складів і сільськогосподарських угідь, призвело до викиду небезпечних хімічних речовин та збудників інфекцій у сусіднє водне середовище разом зі стоком води в Чорне море. Результати відбору проб, проведених після прориву греблі Центрами контролю та профілактики хвороб показали, що бактерії і віруси (лактозопозитивна кишкова паличка, кишкова паличка, холероподібні вібриони, амеби, лямблії, ентерококи, ротавірус, сальмонела, астровірус, криптоспоридії, трихоцефалез, токсокароз, стронгілоїдоз, аскариди людини і стафілококи тощо), які можуть викликати захворювання у людей, були присутні в річковому басейні та в Чорному морі [16].

Негативні наслідки цього теракту не залишають без уваги і вплив на флору та фауну. По-перше, це деградація водного та прибережного середовища Каховського водосховища та сусідніх водойм через відтік води. У результаті витоку води незворотних змін зазнає не лише комплекс мікроорганізмів, а й комплекс фауни, характерний для донного мулу. Осушення поверхонь донних відкладень на тривалий період спричинює появу своєрідних пустель, які й надалі продовжують висихати, осідати та тріскатися.

Як результат, осушення 80% земель під Каховським водосховищем спричинило одразу масову загибель моллюсків, рештки яких утворювали щільний шар, покриваючи великі ділянки дна водойми. У свою чергу, вільні від води ділянки дна виступали сприятливим субстратом для швидкого заселення і поширення агресивних інвазивних видів рослин – як трав'янистих, так і чагарникових та деревних.

Окрім самого басейну водосховища, осушення також вплинуло і на довколишні затоки, балки та річки. Найбільше постраждали водні об'єкти вздовж русла р. Дніпро вище за течією від Каховської ГЕС, зокрема, Олексіївська затока (гирлова частина річки Чортомлик, правої притоки Дніпра) та Мар'янська затока (трохи нижче за течією, недалеко від села Мар'янське).

Серед науковців й досі триває дискусія стосовно подальшого озеленення дна

Каховського водосховища. Одні стверджують про значну загрозу поширення інвазивних видів рослин, інші наголошують, що більшість інвазивних рослин в Україні не пов'язана з річковими долинами і, відповідно, осушені ділянки будуть покриті місцевими рослинами].

Каховське водосховище, як і нижні заплави Дніпра, вважалося одним з найбільших місць комерційного розведення і природного поширення прісноводної риби в Україні [17].

Після спаду води майже вся риба пішла вниз за течією (була знесена в Чорне море, де вона загинула через непристосованість до

солоній води) або залишилася на висохлому дні (почала масово гинути через брак води). У результаті осушення водосховища загинуло близько 11 400 тонн риби. Знищені 85 рибних господарств, які займалися видобутком водних біоресурсів і були розташовані нижче за течією: 49 — у Каховському водосховищі, і 36 — в Дніпровсько-Бузькому лимані» [18]. До того ж, скидання води з водосховища призвело до повного вимирання найбільш вразливих і рідкісних видів риб в пониззі р. Дніпро [19].

Приклад звалища мертвої риби в Херсонській області наведено на рисунку 2.



Рис. 2 – Звалище мертвої риби після руйнування Каховської ГЕС в Херсонській області, 22 липня 2023 р. Дані <https://zaborona.com/chy-varto-vidbudovuvaty-kahovsku-ges-ta-yak-vidnovlyuyetsya-ekosystema-pislya-potopu/>

Fig. 2 – Dump of dead fish after the destruction of the Kakhovka hydroelectric station in the Kherson region, July 22, 2023. Data from <https://zaborona.com/chy-varto-vidbudovuvaty-kahovsku-ges-ta-yak-vidnovlyuyetsya-ekosystema-pislya-potopu/>

Але, збираючи та утилізуючи рибу, українська влада і волонтери відіграли ключову роль у зменшенні збитків жителів прибережних населених пунктів.

Зазнали значного руйнування нерестовища та постійні середовища існування риби внаслідок відтоку води. Отже, через швидке осушення водосховища майже вся молода риба на мілководді опинилася на березі й неминуче загинула, що значно погіршило довгострокові результати нересту.

Постраждали також птахи та пташині гніздові колонії. Важливе значення для популяції птахів мають так звані «кучугури» (острівки посеред водосховища), де птахи активно живуть і розмножуються. Раніше ці місця були ізольовані від суходолу водою, але наразі є незахищеними від хижаків та людей.

За висновками ЮНЕП, Каховське водосховище було важливою складовою Дніпровського меридіонального екокоридору, що є одним з трьох основних міграційних шляхів

птахів, які з'єднують північні райони Полісся, деякі райони Білорусі та Росії з узбережжям Чорного моря. Відповідно, раптова зміна структури та внутрішнього ландшафту над колишнім водосховищем, яке було стабільним та чітким орієнтиром для птахів, може призвести до дезорієнтації під час перельотів [4].

Через відток води постраждали і природоохоронні території, що розташовані на ділянці нижче за течією Дніпра від греблі Дніпровської ГЕС до греблі Каховської ГЕС [20].

Для всіх заповідників, розташованих частково або повністю вздовж узбережжя водосховища (Май-Гора, Лісовий масив на Лисій горі та ін.), витік води і значне раптове скорочення базису ерозії створили додаткову загрозу посилення ерозійних процесів і нових зсувів. Для заповідників, більш віддалених від берегів водосховища, таких як Богданівський, Кам'янський прибережно-річковий комплекс і урочище Білозерське, наслідки в

перший рік після руйнування греблі були незначними, але в довгостроковій перспективі існує низка загроз для їхньої біоти, пов'язаних із радикальною перебудовою гідрологічного режиму. Взагалі, природні комплекси національних парків та інших заповідних територій зазнали масштабних і незворотних втрат первинного біорізноманіття через осушення Каховського водосховища.

Значні ризики та екологічні наслідки спостерігаються не тільки через відтік води, а пов'язані із затопленням величезної території. За висновками Української природоохоронної групи, деякі ендемічні види рослинного світу перебувають під загрозою зникнення внаслідок штучної повені. Остаточне і незворотне знищення залишків реліктових лісів, відомих під назвою Гілея також можна розглядати як один із потенційних наслідків трагедії [17]. Наразі вищеперелічені території перебувають під контролем російських окупаційних військ, тому повністю оцінити негативний вплив неможливо.

Також за даними Міністерства охорони навколишнього середовища та природних ресурсів України, після руйнування греблі внаслідок затоплення могло загинути близько 20 000 хребетних тварин [21].

Відразу після підриву греблі чисельними дослідженнями вчених показані негативні наслідки для унікальних для цього регіону видів наземних тварин [22], деяких рептилій [23], гризунів [24, 25], мурах [26], адже майже всі місця, де раніше мешкали представники тваринного світу, опинилися під водою.

Затоплення також призвело до загибелі близько 300 тварин у зоопарку «Казкова

Діброва», який розташований на окупованій території [27]. Найбільше від затоплення постраждав Нижньодніпровський національний природний парк, понад 95% загальної площі в заплаві Дніпра від якого було затоплено. Потужні потоки води розмили родючий шар ґрунту на затопленій території, знищили живі організми, які формували заплавні екосистеми, порушили або зруйнували біоценотичні зв'язки на затоплених територіях [28].

Отже, різні групи тварин в тій чи іншій мірі постраждали через втрату або значне виснаження джерел харчування, зміни хімічного складу води, а також викиду токсичних речовин із напівзатоплених складів пестицидів, побутових і промислових відходів, які потрапляли в р. Дніпро і Чорне море у великих кількостях після затоплення населених пунктів і промислових зон уздовж берегів р. Дніпро [29].

Підриг Каховської гідроелектростанції, окрім вищепереліченого, завдав величезного удару по зрошувальній системі південних регіонів України. Найбільше постраждала Каховська магістральна зрошувальна система, завдяки якій зрошувалось тисячі гектарів сільськогосподарських земель.

Після руйнування дамби Каховського водосховища площа зрошуваних земель Херсонської області скоротилася на 95% (рис. 3). Крім того, 78% зрошуваних площ країни залежали від Каховської системи, що підкреслює масштаби проблеми.

Через втрату зрошення на пошкодженій території загальне виробництво с/г культур на зрошувальних землях скоротилося на 89%: виробництво овочів зменшилося на



Рис. 3 — Динаміка змін площі зрошуваних земель за період 2014-2023 рр. в Херсонській області [30]
Fig. 3 — Dynamics of changes in the area of irrigated land for the period 2014-2023 in Kherson region [30]

85%; виробництво зернових та зернобобових скоротилося на 93%; олійні культури зазнали падіння на 98%; для картоплі характерним стало зниження на 30% (рис. 4).

У результаті, загальні втрати через скорочення виробництва зернових, олійних та овочевих культур сягнули високих показників (рис. 5). Зокрема, в овочівництві \$109,3 млн втрат припадає лише на самі томати та огірки. Отже, кількість сухих земель зросла на 45%, що значно ускладнило можливість швидкого відновлення аграрного виробництва.

Як результат, для відновлення та стабілізації зрошувальної системи необхідні значні інвестиції та модернізація існуючої інфраструктури. У порівнянні з 2021 роком через війну втрати площі зрошення склали 78% [30].

Внаслідок підриву Каховської греблі постраждали ґрунти як вище, так і нижче за течією. У результаті катастрофи території, зайняті Каховським водосховищем, а також русло і ділянки Нижнього Дніпра зазнали осушення на 80% [17]. ЮНЕП стверджує, що одним з можливих наслідків висихання буде поява піщаних бурь та інтенсивність змін клімату, яке створить додаткове навантаження на рослинність і збільшить ризик появи своєрідних пустель в сусідніх регіонах [4]. За даними РАХ, зневоднення ґрунтів призведе до засолення ґрунтів, зниження їхньої продуктивності і деградації орних земель, що спричинить труднощі у веденні сільського господарства в регіоні [31]. Водночас, опади можуть не забезпечити обсягів зрошування, достатніх для сільськогосподарського виробництва [32].



Рис. 4 — Зміни у виробництві с/г культур на зрошуваних землях у 2018–2023 рр. [30]
Fig. 4 — Changes in agricultural production on irrigated lands in 2018-2023 [30]



Рис. 5 — Дані моніторингу втрат через припинення іригації станом на 2023 р. [30]
Fig. 5 — Irrigation cessation loss monitoring data as of 2023 [30]

Отже, висихання дна Каховського водосховища, що сталося в результаті руйнування греблі Каховської ГЕС, призвело до утворення нестійких осушених піщано-глинистих ґрунтів, які більш схильні до вітрової і сонячної ерозії. Різке висихання ґрунту сприяє швидкому поширенню інвазивних видів рослин, виснаженню родючого ґрунтового покриву, утворенню піщаних мілин і засоленню ґрунтів. До того ж, підвищений вміст солей у ґрунтових водах і застій води внаслідок затоплення стали факторами накопичення солей у ґрунтах.

Дослідження, проведені міжнародними експертами, показали наявність марганцю і кадмію, а також свинцю і миш'яку в концентраціях, що перевищують допустимі норми, у пробах ґрунту, взятих у прибережних районах гирла водосховища і нижче за течією зруйнованої греблі вздовж русла Дніпра [17]. Дослідження Інституту геохімії навколишнього середовища встановили, що порівняно з ґрунтами прибережних районів, де фонові геохімічні концентрації важких металів відповідають встановленим нормам, донні відкладення в руслах річок піднімаються на поверхню внаслідок обміління Каховського водосховища і характеризуються підвищеним вмістом таких хімічних елементів, як Ti, Mn, Ni, Cd, Be, La, Yb, Ge, Sn, W, Li та Sc [33].

Отже, основну небезпеку становлять донні відкладення Каховського водосховища, що піднялися на поверхню, представлені багатолітніми муловими відкладеннями, які перенесені водами з Дніпра, скупченнями колоїдних розчинів важких металів та інших небезпечних сполук у численних місцях скидання промислових підприємств, розташованих уздовж берегів р. Дніпро та її притоків. Через здатність цих елементів мігрувати у геологічному середовищі, існує ризик їхнього потрапляння в місцеві водоносні пласти та, як наслідок, у харчові продукти та організм людини.

Важливим питанням є обговорення шляхів подолання екологічних наслідків та впровадження заходів щодо відновлення та ремедіації пошкоджених територій. 18 липня 2023 року Уряд затвердив постанову про експериментальний проєкт, розрахований на два роки, з початку відбудови Каховської ГЕС, яку підірвали росіяни. На першому етапі

планується проєктування всіх інженерних конструкцій, підготовка необхідної бази для відновлення. Другий етап розпочнеться після деокупації територій, де розташована ГЕС. Він передбачає власне будівельні роботи. Координуватиме проєкт Міністерство економіки, а замовником робіт буде державне підприємство «Укргідроенерго» [34].

Важливим етапом відбудови ГЕС буде попередня підготовка дна майбутнього водосховища перед його заповненням. Як вказувалося вище, дно існувавшого раніше басейну водосховища сьогодні вкрито густою рослинністю. Тому, в першу чергу, необхідно вирішити питання з його очищення від рослин. Тут важливо врахувати попередній позитивний досвід підготовки басейнів каскаду Дніпровських водосховищ, так і допущені тоді недоліки в цьому напрямку. Важливо врахувати світовий досвід підготовки майбутніх басейнів водосховищ. Наступним етапом має бути моніторинг складу донних відкладень. Виявлені накопичення важких металів, шкідливих речовин, нафтопродуктів необхідно видалити з дна басейну.

Така підготовка відбудованого басейну дасть змогу в короткий термін відновити використання води басейну для потреб життєдіяльності людей, зрошення сільськогосподарських угідь, виключити забруднення води в Чорному морі, відновити рибогосподарське значення басейну.

Необхідно вже сьогодні виконати комплекс робіт по створенню необхідної техніки та розробці технологій її використання.

Використання геоінженерії слугуватиме чудовим інструментом для усунення наслідків екологічної катастрофи, зокрема забруднення повітря, води та ґрунту. Наприклад, відновленню довкілля сприятиме реабілітація ґрунту через внесення в нього біохару або використання фітостабілізації з допомогою рослин для боротьби із забрудненням земель.

Можливе також застосування біореємедіації, що полягає в процесі залучення мікроорганізмів для розкладання шкідливих речовин і перетворення їх на нейтральні або менш токсичні продукти. Це, зокрема, біологічне розкладання, стабілізація органічних забруднювачів, зв'язування неорганічних забруднювачів. Біореємедіація може відбуватися на місці забруднення або за його межами, коли

забруднений матеріал переміщується в контрольоване середовище для здійснення процесів очищення. Бактерії часто використовують для біоремедіації забруднених нафтопродуктами ґрунтів, оскільки вони мають здатність розщеплювати нафту на безпечні компоненти. Рослини, в свою чергу, можуть витягати токсичні елементи з ґрунту або води та накопичувати їх у своїх тканинах, або віддавати токсини в атмосферу.

Технологія карбонатної мінералізації для зниження рівня CO₂ в атмосфері та використання наночастинок для зниження рівня забруднювачів у воді також стануть корисними при вирішенні проблемних питань [35, 36].

Реставрація природних угідь є важливим процесом, який включає відновлення та

відтворення деградованих або знищених угідь до їхнього природного стану. Вона може охоплювати різноманітні стратегії, зокрема: відновлення рідкісних рослин, відновлення водних ресурсів, зменшення забруднення або впровадження управління місцем проживання для забезпечення сталого розвитку біорізноманіття [37].

Зокрема, методи відновлення угідь залежать від конкретних цілей, екологічних умов та доступних ресурсів. Вони можуть охоплювати активне впровадження рослин або висівання рідких видів, контроль над небажаними видами, зміну водного режиму для відновлення водяних угідь, або використання контролю для стимулювання росту рідких видів.

Висновки

Встановлено, що підлив греблі Каховської ГЕС спричинив появу низки негативних наслідків для місцевого населення. Загибель людей, підтоплення помешкань, руйнування критично важливих об'єктів інфраструктури, забруднення вод органічними та хімічними речовинами посприяли обмеженню доступу до базових потреб суспільства та становленню загрози для здоров'я великої кількості людей. При цьому військовий стан в країні значно ускладнював заходи з евакуації населення та ліквідації наслідків екологічної катастрофи.

Доведено, що через руйнування Каховської ГЕС відбулося масштабне забруднення водних об'єктів сміттям різної природи, нафтопродуктами, токсичними металами, біогенними та хлорорганічними сполуками, рідкими добривами, продуктами життєдіяльності організмів. Затоплення муніципальних об'єктів призвело до інтенсивного розвитку збудників інфекцій, які можуть викликати вірусні та бактеріальні захворювання людей різного рівня тяжкості.

Скидання води з Каховського водосховища значно вплинуло на систему водопостачання сусідніх районів, навіть за умови, що вони розташовані не безпосередньо на березі, але отримують воду з водосховища.

Аналіз показав, що відтік води з осушенням території вище греблі та затоплення територій нижче греблі є основними факторами, які завдали небажаного впливу на флору та фауну в межах екологічної катастрофи. Водночас, надати остаточну оцінку впливу від руйнування Каховської греблі неможливо, адже для отримання достовірної інформації знадобляться постійні довгострокові спостереження. Оскільки значна площа території й досі залишається недоступною через активні бойові дії, то проведення первинної оцінки в повній мірі та подальше повномасштабне дослідження наслідків катастрофи наразі неможливе.

Запропоновано можливі шляхи подолання екологічних наслідків та впровадження заходів щодо відновлення та ремедіації пошкоджених територій, а саме розглянуто важливі етапи відбудови ГЕС, включаючи попередню підготовку дна майбутнього водосховища, моніторинг складу донних відкладень, очистку від важких металів, шкідливих речовин, нафтопродуктів з подальшими технологіями відновлення та відтворення деградованих або знищених угідь до їхнього природного стану за допомогою методів біоремедіації та карбонатної мінералізації.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. ACAPS Briefing note - Ukraine: Flooding due to destruction of Kakhovka Dam. ACAPS: data-driven humanitarian analysis | ACAPS. 2023. URL: https://www.acaps.org/fileadmin/Data_Product/Main_media/20230609_acaps_briefing_note_ukraine_flooding_due_to_the_destruction_of_the_kakhovka_dam.pdf (дата звернення: 03.03.2025).
2. Булавін, Д. Ліквідація наслідків підриву Каховської ГЕС завершена — МОЗ. Hromadske 2023. . URL: <https://hromadske.ua/posts/likvidaciya-naslidkiv-pidrivu-kahovskoyi-ges-zavershena-moz> (дата звернення: 05.03.2025).
3. Tétrault-Farber, G., Faulconbridge, G Mines uprooted in Ukraine dam disaster could pose danger for years, Red Cross says. 2023. URL: <https://www.reuters.com/world/europe/mines-uprooted-ukraine-dam-disaster-could-pose-danger-years-come-red-cross-2023-06-08/> (дата звернення: 04.03.2025).
4. Rapid environmental assessment of Kakhovka Dam Breach Ukraine. UN Environment Document Repository Home. 2023. URL: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/43696> (дата звернення: 04.03.2025).
5. Президент України провів екстрене засідання Ради національної безпеки і оборони щодо ситуації на Каховській ГЕС. Офіс Президента України. 2023. URL: <https://president.gov.ua/news/prezident-ukrayini-proviv-ekstrene-zasidannya-radi-nacionaln-83417> (дата звернення: 05.03.2025).
6. Оперативна інформація за наслідками підриву Каховської ГЕС станом на 06:00 13.06.2023. ЕкоЗагроза. Офіційний ресурс Міндовкілля. 2023. URL: <https://ecozagroza.gov.ua/news/119> (дата звернення: 26.02.2025).
7. Ukraine Situational Overview Kakhovka Dam breach. 2023. URL: https://repository.impact-initiatives.org/document/reach/4671cd41/REACH_UKR_Situational-Overview_Kakhovka-Dam-Breach_16-June-2023_EN.pdf (дата звернення: 26.02.2025).
8. Vyshnevskiy, V., Shevchuk, S., Komorin, V., Olynyk, Y., & Gleick, P. The destruction of the Kakhovka dam and its consequences. *Water International*, 2023. Vol. 48. No 5. 631-647. DOI: <https://doi.org/10.1080/02508060.2023.2247679>
9. Забруднення Чорного моря як наслідок аварійної ситуації, яка склалася після підриву греблі Каховської ГЕС. УкрНЦЕМ. 2023. URL: https://sea.gov.ua/index.php/2023/06/27/ges_explosion_conseq/ (дата звернення: 27.03.2025).
10. Вплив аварії на Каховській ГЕС на морську екосистему: Оновлені дані від УкрНЦЕМ. 2023. URL: https://sea.gov.ua/index.php/2023/07/17/new_data_ges_statsu ukrscs/ (дата звернення: 10.03.2025).
11. Kolatková, M. First research of the contamination of the sediments from Kakhovka reservoir. *Chráníme naše životní prostředí*. 2024. URL: <https://arnika.org/en/publications/first-research-of-the-contamination-of-the-sediments-from-kakhovka-reservoir> (дата звернення: 10.03.2025).
12. Тучковенко, Ю. Особливості розповсюдження в Чорному морі розпріснених забруднених перехідних вод з Дніпровсько-Бузького лиману після руйнування греблі Каховського водосховища. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2023 №.32). С.110.
13. Екологічні наслідки та ризики бойових дій в Україні. Екодозор. URL: [Ecodozor. https://ecodozor.org/](https://ecodozor.org/) (дата звернення: 10.03.2025).
14. Наукова оцінка екологічної шкоди, заподіяної проривом Каховської греблі. Інститут морської біології НАН України. URL: <https://imb.odessa.ua/?pid=20904106> (дата звернення: 23.03.2025).
15. Цвітіння фітопланктону в Одеській затоці після підриву Каховської дамби. УкрНЦЕМ. 2023. URL: https://sea.gov.ua/index.php/2023/06/15/phytoplankton_blossoms_odesa_black_sea/ (дата звернення: 23.03.2025).
16. Кузін, І. Гігієнічним нормам не відповідають щонайменше 30% проб води, відібраних з поверхневих водойм. Міністерство охорони здоров'я України. 2023. URL: <https://moz.gov.ua/uk/gigienichnim-normam-ne-vidpovidajut-schonajmenshe-30-prob-vodi-vidibranih-z-poverhnevih-vodojm---igor-kuzin> (дата звернення: 22.02.2025).
17. Затоплено війною: Дослідження руйнування Каховської греблі та його наслідки для екосистеми, аграріїв, цивільного життя та міжнародного правосуддя. Truth Hounds. 2023. URL: <https://truth-hounds.org/cases/zatopleno-vijnoyu-doslidzhennya-rujnuvannya-kahovskoyi-grebl-i-ta-jogo-naslidky-dlya-ekosystemy-agrariyiv-czyvilnogo-zhyttya-ta-mizhnarodnogo-pravosuddya/> (дата звернення: 27.04.2025).
18. Жарикова, А. Через підрив Каховської ГЕС втрачено понад 11 тисяч тонн риби на 10 мільярдів - Мінагрополітики. *Економічна правда*. 2023. URL: <https://epravda.com.ua/news/2023/07/13/702198/> (дата звернення: 22.02.2025).
19. Галух, О. Один вид риб уже зник з лиця Землі: науковець розповів про наслідки підриву Каховської ГЕС. *Вечірній Київ*. 2024. URL: <https://vechirniy.kyiv.ua/news/84917/> (дата звернення: 08.04.2025).

20. Грачов, А. Перелік об'єктів природно-заповідного фонду України в розрізі областей. Природно-заповідний фонд України. URL: <https://pzf.land.kiev.ua/pzf-spisok.html> (дата звернення: 08.04.2025).
21. Руслан Стрілець на зустрічі міністрів довкілля країн ЄС розповів про наслідки від підриву Каховської ГЕС. Урядовий портал. 2023. URL: https://www.kmu.gov.ua/news/ruslan-strilets-na-zustrichi-ministriv-dovkillia-krain-ies-rozpoviv-pro-naslidky-dlia-dovkillia-vid-pidryvu-kakhovskoi-hes?fbclid=IwAR11E41fBHpZwgFT-zinGu2wrUa2dRw5i5JA2xLhR_SQ_RLqsvYkAvF9y-g (дата звернення: 08.04.2025).
22. Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe. 1979. URL: <https://rm.coe.int/1680304355>.
23. Document – Annex III: protected fauna species. European Environment Agency. 1994. URL: <https://eunis.eea.europa.eu/references/1567/species>.
24. Борисіхіна, К. До 70% популяції. Український учений попередив про масове вимирання рідкісного гризуна. NV Техно. 2023. URL: <https://techno.nv.ua/ukr/popsience/chez-zatoplennya-kahovskoji-ges-mozhe-zniknuti-ridkisniy-vid-ekolog-50330121.html> (дата звернення: 27.03.2025).
25. Вовк, К. Цілий вид рідкісних тварин може зникнути через затоплення після підриву Каховської ГЕС. Свідомі. 2023. URL: <https://svidomi.in.ua/page/tsilyi-vyd-ridkisnykh-tvaryn-mozhe-znyknuty-cherez-zatoplennia-pislya-pidryvu-kakhovskoi-hes> (дата звернення: 27.03.2025).
26. Машишин, Г. Підлив Каховської ГЕС: які види рідкісних тварин зникнуть назавжди. KP.UA. 2023. URL: <https://kp.ua/ua/incidents/a671062-pidriv-kakhovskoji-hes-jaki-vidi-ridkisnikh-tvarin-zniknut-nazavzhd> (дата звернення: 26.04.2025).
27. Бойко, М. У зоопарку Нової Каховки загинуло близько 300 тварин: чому їх не змогли врятувати. ТСН.ua. 2023. URL: <https://tsn.ua/ato/u-zooparku-novoyi-kahovki-zaginulo-blizko-300-tvarin-chomu-yih-ne-zmogli-vryatuvati-2344969.html> (дата звернення: 01.04.2025).
28. Кожушко, А. Нижньодніпровський природний парк повністю знищено після підриву Каховської ГЕС. Факти ICTV. 2023. URL: <https://fakty.com.ua/ua/ukraine/20230609-nyzhnodniprovskiy-prirodnyj-park-povnistyu-znyshcheno-pislya-pidryvu-kahovskoyi-ges/> (дата звернення: 13.04.2025).
29. Козова, Л. Без мідій та бичків: відомі наслідки для Чорного моря після підриву Каховської ГЕС. UNIAN.NET. 2023. URL: <https://www.unian.ua/ecology/bez-midiy-ta-bichkiv-vidomi-naslidki-dlya-chornogo-morya-pislya-pidryvu-kahovskoji-ges-12293172.html> (дата звернення: 01.04.2025).
30. Після руйнування греблі Каховського водосховища площа під зрошенням в Україні скоротилася на 95%. SuperAgronom.com. 2023. URL: <https://superagronom.com/news/20255-pislya-ruynuvannya-grebl-kahovskogo-vodoshovischa-ploscha-pid-zroshenniam-v-ukrayini-skorotilasya-na-95> (дата звернення: 13.04.2025).
31. Nikolaieva, I., Parandii, C., & Zwijnenburg, W. A Preliminary Environmental Risk Assessment of the Kakhovka Dam Flooding (Report number if available). PAX. 2023. URL: https://paxvoorrede.nl/wp-content/uploads/2023/06/PAX_REPORT_Kakhovka_FIN.pdf (дата звернення: 13.04.2025).
32. GIEWS Update – Ukraine: Flood waters from the breach of the Kakhovka Dam receded, but concerns remain for future agricultural production. 2023. FAO. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d32b6407-a387-412c-9490-71a75c839051/content> (дата звернення: 15.02.2025).
33. Науковці Академії вивчають ложе Каховського водосховища. Національна академія наук України. 2023. URL: <https://old.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=10888> (дата звернення: 17.02.2025).
34. Уряд затвердив проєкт відбудови Каховської ГЕС. 2023. Онлайн-медіа Міністерства оборони України «АрміяInform»: веб-сайт. URL: <https://armyinform.com.ua/2023/07/18/uryad-zatverdyy-dvorichnyj-proyekt-z-pochatku-vidbudovy-kahovskoyi-ges/> (дата звернення: 15.02.2025).
35. Warsini, S., Mills, J., Usher, K Solastalgia: Living With the Environmental Damage Caused By Natural Disasters. *Prehospital and Disaster Medicine*. 2014. Vol. 29. No 1. P.87–90. DOI: <https://doi.org/10.1017/s1049023x13009266>
36. Natural disaster risk management: geosciences and social responsibility. (2016). *Choice Reviews Online*, 53(09), 53–3955–53–3955. DOI: <https://doi.org/10.5860/choice.195549>
37. Abdelmagied, Reem. Environmental Disasters: Concepts and Theories. *The International Journal of Humanitarian Studies. International Journal of Humanitarian Technology*. 2022. 112-128.

Стаття надійшла до редакції 27.04.2025
Стаття рекомендована до друку 12.06.2025

Y. V. VOITENKO¹, PhD (Technical),

Associate Professor of the Department of Life Safety

e-mail: Juliya.voy.1983@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0819-3794>

K. S. SVYRYDOVA¹,

Bachelor at the Department of Plant Physiology and Introduction

e-mail: katernasvrydova372@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-2484-1122>

¹Oles Honchar Dnipro National University,
72, Nauki ave., Dnipro, 49010, Ukraine

UNDERMINING OF KAKHOVKA HPP: ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES AND REMEDIATION OF DAMAGED TERRITORIES

Purpose. Study of the environmental consequences of the destruction of the Kakhovka hydroelectric station, analysis of the impact of water pollution for the population, flora and fauna, assessment of the impact on agriculture and study of possible ways to restore the territory.

Methods. System analysis, statistical methods.

Results. Water pollution by garbage, oil products, chemical and hazardous, organic and biogenic substances, as well as bacteria and viruses has been identified. It is determined that negative phenomena as outflow of water and flooding caused large-scale damage not only to the population, which were forced to evacuate due to the threat to life, but also to the economy of the country, which suffered as a result of the defeat of agricultural land. In particular, a decrease in the area of irrigated land and, as a consequence, a decrease in the total production of agricultural crops, such as vegetables, grains and legumes, oilseeds, etc. The tragedy also caused the death of a large number of representatives of the plant and animal world due to significant flooding of the territory. Considered promising ways to overcome the environmental consequences of this disaster. Urgent tasks are the use of methods of restoring land depending on environmental conditions and available resources.

Conclusions. Significant negative impact on both environmental elements, including water bodies and soils, and on the country's economic development due to damage to agricultural lands has been identified. The importance of the task of applying means to restore damaged areas, including methods of biological remediation, geoengineering and carbonate mineralization technologies, has been proven.

KEY WORDS: *Kakhovka HPP, ecological catastrophe, flora, fauna, water pollution, flooding, remediation of territories.*

References

1. ACAPS Briefing note - Ukraine: Flooding due to destruction of Kakhovka Dam. (2023). ACAPS: data-driven humanitarian analysis | ACAPS. Retrieved from https://www.acaps.org/fileadmin/Data_Product/Main_media/20230609_acaps_briefing_note_ukraine_flooding_due_to_the_destruction_of_the_kakhovka_dam.pdf
2. Bulavin, D. (2023). *Likvidatsiia naslidkiv pidryvu Kakhovskoi HES zavershena* — MOZ. hromadske. Retrieved from <https://hromadske.ua/posts/likvidaciya-naslidkiv-pidryvu-kahovskoyi-ges-zavershena-moz> (in Ukrainian)
3. Tétrault-Farber, G., & Faulconbridge, G. (2023). *Mines uprooted in Ukraine dam disaster could pose danger for years, Red Cross says*. Retrieved from <https://www.reuters.com/world/europe/mines-uprooted-ukraine-dam-disaster-could-pose-danger-years-come-red-cross-2023-06-08/>
4. Rapid environmental assessment of Kakhovka Dam Breach Ukraine. (2023). *UN Environment Document Repository Home*. Retrieved from <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/43696>
5. *Prezydent Ukrainy proviv ekstrene zasidannia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony shchodo sytuatsii na Kakhovskii HES. Ofis Prezydenta Ukrainy*. (2023). Retrieved from <https://president.gov.ua/news/prezident-ukrayini-proviv-ekstrene-zasidannya-radi-nacionaln-83417> (in Ukrainian)
6. *Operativna informatsiia za naslidkamy pidryvu Kakhovskoi HES stanom na 06:00 13.06.2023*. (2023). *EkoZagroza. Ofitsiyni resurs Mindovkillia*. Retrieved from <https://ecozagroza.gov.ua/news/119> (in Ukrainian)
7. *Ukraine Situational Overview Kakhovka Dam breach*. (2023). Retrieved from https://repository.impact-initiatives.org/document/reach/4671cd41/REACH_UKR_Situational-Overview_Kakhovka-Dam-Breach_16-June-2023_EN.pdf
8. 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>

9. Zabrudnennia Chornoho moria yak naslidok avariinoi sytuatsii, yaka sklalasla pislia pidryvu hrebli Kakhovskoi HES. UkrNTsEM. (2023). Retrieved from https://sea.gov.ua/index.php/2023/06/27/ges_explosion_conseq/ (in Ukrainian)
10. Vplyv аварії на Kakhovskii HES na morskii ekosystemu: Onovleni dati vid UkrNTsEM. (2023). Retrieved from https://sea.gov.ua/index.php/2023/07/17/new_data_ges_stats_ukrscs/ (in Ukrainian)
11. Kolatková, M. (2024). First research of the contamination of the sediments from Kakhovka reservoir. *Chráníme naše životní prostředí*. Retrieved from <https://arnika.org/en/publications/first-research-of-the-contamination-of-the-sediments-from-kakhovka-reservoir>
12. Tuchkovenko, Yu. (2023). Osoblyvosti rozpoznavannia v Chornomu mori rozprisenykh zabrudnennykh perekhidnykh vod z Dniprovsko-Buzkoho lymanu pislia ruinovannia hrebli Kakhovskoho vodoshkovyshcha. *Ukrainskyi hidrometeorologichnyi zhurnal*, (32), 110. (in Ukrainian)
13. Ekologichni naslidky ta ryzyky boiovykh dii v Ukraini. (b. d.). *Ecodozor*. Retrieved from <https://ecodozor.org/> (in Ukrainian)
14. Naukova otsinka ekologichnoi shkody, zapodiiano proryvom Kakhovskoi hrebli. (b. d.). *Institut morskoi biologii NAN Ukrainy*. Retrieved from <https://imb.odessa.ua/?id=20904106> (in Ukrainian)
15. Tsvitinnia fitoplanktonu v Odesii zatotsi pislia pidryvu Kakhovskoi damby. UkrNTsEM. (2023). Retrieved from https://sea.gov.ua/index.php/2023/06/15/phytoplankton_blossoms_odesa_black_sea/ (in Ukrainian)
16. Kuzin, I. (2023). Hihienichnym normam ne vidpovidaiut shchonajmenshe 30% prob vody, vidibranykh z poverkhnevnykh vodoim. *Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy*. Retrieved from <https://moz.gov.ua/uk/gigienichnim-normam-ne-vidpovidajut-schonajmenshe-30-prob-vodi-vidibranih-z-poverhnevnykh-vodoim---igor-kuzin> (in Ukrainian)
17. Zatopleno viinoiu: Doslidzhennia ruinovannia Kakhovskoi hrebli ta yoho naslidky dla ekosystemy, ahrariiv, tsyvilnoho zhyttia ta mizhnarodnoho pravosuddia. *Truth Hounds*. (2023). Retrieved from <https://truth-hounds.org/cases/zatopleno-vijnoyu-doslidzhennya-ruinovannya-kahovskoyi-grebli-ta-jogo-naslidky-dlya-ekosystemy-agrariiv-cyvilnogo-zhyttia-ta-mizhnarodnogo-pravosuddia/> (in Ukrainian)
18. Zharykova, A. (2023). Cherez pidryv Kakhovskoi HES vtracheno ponad 11 tysyach tonn ryby na 10 miliardiv - Minahropolityky. *Ekonomichna pravda*. Retrieved from <https://epravda.com.ua/news/2023/07/13/702198/> (in Ukrainian)
19. Halukh, O. (2024). Odyn vyd ryb uzhe znyk z lytsia Zemli: naukove rozpoznavannia pro naslidky pidryvu Kakhovskoi HES. *Vechirnyi Kyiv*. Retrieved from <https://vechirniy.kyiv.ua/news/84917/> (in Ukrainian)
20. Hrachov, A. (b. d.). *Perelik obektiv pryrodno-zapovidnoho fondu Ukrainy v rozrizi oblastei. Pryrodno-zapovidnyi fond Ukrainy*. Retrieved from <https://pzf.land.kiev.ua/pzf-spisok.html> (in Ukrainian)
21. Ruslan Strilets na zustrichi ministriv dovkillia krain YeS rozpoznavannia pro naslidky vid pidryvu Kakhovskoi HES. *Uriadovyi portal*. (2023). Retrieved from https://www.kmu.gov.ua/news/ruslan-strilets-na-zustrichi-ministriv-dovkillia-krain-ies-rozpoviv-pro-naslidky-dlia-dovkillia-vid-pidryvu-kakhovskoi-hes?fbclid=IwAR11E41fBHpZwgFT-zinGu2wrUa2dRw5i5JA2xLhR_SO_RLqsvYkAvF9y-g (in Ukrainian)
22. *Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe*. (1979). Retrieved from <https://rm.coe.int/1680304355>
23. Document – Annex III: protected fauna species. (1994). *European Environment Agency*. Retrieved from <https://eunis.eea.europa.eu/references/1567/species>
24. Borysikhina, K. Do 70% populatsii. Ukrainskyi uchenyi poperedyv pro masove vymyranня ridkysnoho hryzuna. (2023). *NV Tekhno*. Retrieved from <https://techno.nv.ua/ukr/popscience/cherez-zatoplennya-kahovskoji-ges-mozhe-zniknuti-ridkisniy-vid-ekolog-50330121.html> (in Ukrainian)
25. Vovk, K. Tsilyi vyd ridkisnykh tvaryn mozhe znyknyty cherez zatoplenня pislia pidryvu Kakhovskoi HES. (2023). *Svidomi*. Retrieved from <https://svidomi.in.ua/page/tsilyi-vyd-ridkisnykh-tvaryn-mozhe-znyknyty-cherez-zatoplenня-pislia-pidryvu-kakhovskoi-hes> (in Ukrainian)
26. Mashchyshyn, H. (2023). Pidryv Kakhovskoi HES: yaki vydy ridkisnykh tvaryn znyknut nazavzhdy. *KP.UA*. Retrieved from <https://kp.ua/ua/incidents/a671062-pidryv-kahovskoji-hes-jaki-vidi-ridkisnykh-tvarin-znyknut-nazavzhdy> (in Ukrainian)
27. Boiko, M. (2023). U zooparku Novoi Kakhovky zahynulo blyzko 300 tvaryn: chomu yikh ne zmohly vriatuvaty. *TSN.ua*. Retrieved from <https://tsn.ua/ato/u-zooparku-novoyi-kahovki-zaginulo-blizko-300-tvarin-chomu-yih-ne-zmogli-vryatuvati-2344969.html> (in Ukrainian)
28. Kozhushko, A. (2023). Nyzhnodniprovskiy pryrodnyi park povnistiu znyshcheno pislia pidryvu Kakhovskoi HES. *Fakty ICTV*. Retrieved from <https://fakty.com.ua/ua/ukraine/20230609-nyzhnodniprovskiy-pryrodnyj-park-povnistiu-znyshcheno-pislya-pidryvu-kahovskoyi-ges/> (in Ukrainian)
29. Kozova, L. (2023). Bez midii ta bychkiv: vidomi naslidky dla Chornoho moria pislia pidryvu Kakhovskoi HES. *UNIAN.NET*. Retrieved from <https://www.unian.ua/ecology/bez-midii-ta-bychkiv-vidomi-naslidki-dlya-chornogo-moria-pislya-pidryvu-kahovskoji-ges-12293172.html> (in Ukrainian)

30. Pislia ruinuвання hrebli Kakhovskoho vodoshkovyshcha ploshcha pid zroshenniam v Ukraini skorotylasia na 95%. (2023). *SuperAgronom.com*. Retrieved from <https://superagronom.com/news/20255-pislja-ruynuvannya-grebli-kahovskogo-vodoskovyshcha-ploshcha-pid-zroshenniam-v-ukrayini-skorotylasia-na-95> (in Ukrainian)
31. Nikolaieva, I., Parandii, C., & Zwijnenburg, W. (2023). A Preliminary Environmental Risk Assessment of the Kakhovka Dam Flooding (Report number if available). *PAX*. Retrieved from https://paxvoorvrede.nl/wp-content/uploads/2023/06/PAX_REPORT_Kakhovka_FIN.pdf
32. GIEWS Update – Ukraine: Flood waters from the breach of the Kakhovka Dam receded, but concerns remain for future agricultural production. (2023). *FAO*. Retrieved from <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d32b6407-a387-412c-9490-71a75c839051/content>
33. Naukovtsi Akademii vyvchaiut lozhe Kakhovskoho vodoshkovyshcha. (2023). *Natsionalna akademiia nauk Ukrainy*. Retrieved from <https://old.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=10888> (in Ukrainian)
34. Uriad zatverdyy proiekt vidbudovy Kakhovskoi HES. (2023). *Onlain-media Ministerstva oborony Ukrainy «ArmiiaInform»*: veb-sait. Retrieved from <https://armyinform.com.ua/2023/07/18/uryad-zatverdyy-dvorich-nyj-proyekt-z-pochatku-vidbudovy-kahovskoyi-ges/> (in Ukrainian)
35. Warsini, S., Mills, J., & Usher, K. (2014). Solastalgia: Living With the Environmental Damage Caused By Natural Disasters. *Prehospital and Disaster Medicine*, 29(1), 87–90. <https://doi.org/10.1017/s1049023x13009266>
36. Natural disaster risk management: geosciences and social responsibility. (2016). *Choice Reviews Online*, 53(09), 53–3955–53–3955. <https://doi.org/10.5860/choice.195549>
37. Abdelmagied, Reem. (2022). Environmental Disasters: Concepts and Theories. *The International Journal of Humanitarian Studies. International Journal of Humanitarian Technology*. 112-128.

The article was received by the editors 27.04.2025

The article is recommended for printing 12.06.2025

БІОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-09>

UDC (УДК):504.054:574.3.587(477.7)

G. M. SHYKHALEYEVA¹, PhD (Chemistry),

Leading Researcher of the Environmental Monitoring Department

e-mail: i.l.monitoring@ukr.net ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1475-4415>

G. M. KIRYUSHKINA¹,

Senior Researcher of the Environmental Monitoring Department

e-mail: i.l.monitoring@ukr.net ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4445-9879>

¹Physical-Chemical Institute for Human Health and Environment Protection
of Odessa I. I. Mechnikov National University,
18, Preobrazhenska Str., Odesa, 65082, Ukraine

ACCUMULATION OF HEAVY METALS (CU, CR, PB, CD) IN AQUATIC INVERTEBRATES FROM THE HYPERHALINE KUYALNYK ESTUARY (UKRAINE, NORTH-WESTERN BLACK SEA REGION)

Purpose. To investigate the content of heavy metals (Cu, Cr, Pb, Cd) and the features of their migration and accumulation in the components (*Artemia salina*: biomass of individuals of and eggs (cysts), *Chironomus salinarius* larvae, water, bottom sediments) of the Kuyalnyk Estuary ecosystem.

Methods. Atomic absorption spectrophotometry, hydrochemical, biological, automated analysis methods and static analyses.

Results. This is the first study of the accumulation of Cr, Cu, Pb, Cd in the biomass of gill crustaceans *A. salina* and larvae of *Ch. salinarius*, extracted from the hyperhaline Kuyalnyk estuary. It was determined that the average heavy metal content in the components of the aquatic environment is represented by the following regression series: Water: Pb > Cu > Cr > Cd; Bottom sediments: Cu > Pb > Cr > Cd; Crustaceans and cysts of *A. salina*: Pb > Cu > Cr > Cd; Larvae of *Ch. salinarius*: Cr > Cu > Pb > Cd. Intensive accumulation of heavy metals in bottom sediments, crustaceans *A. salina* and larvae of *Ch. salinarius* compared to water is shown, which is confirmed by the coefficients of bottom accumulation and bioaccumulation. *A. salina* and larvae of chironomids *Ch. salinarius* are effective concentrators of the studied heavy metals, especially lead and chromium. It was found that *A. salina* accumulates Pb and Cd more intensively, while *Ch. salinarius* accumulates Cr the most.

Conclusions. Hydrobionts of the Kuyalnyk estuary (*A. salina* and *Ch. salinarius*) are informative bioindicators of chemical pollution of water bodies with heavy metals, with the effective transfer of these metals to the biota mainly from water. The concentrations of Cd and Pb in these organisms do not exceed the permissible levels for animal feed, which indicates their potential safety for use. The obtained data are important for the scientific and biological justification of the use of bioresources of the Kuyalnytskyi estuary and saline water bodies in general.

KEY WORDS: *Kuyalnyk estuary, heavy metals, aquatic invertebrate organisms, concentration, coefficient of biological absorption, bioindication*

Як цитувати: Shykhaleyeva G. M., Kiryushkina G. M. Accumulation of heavy metals (Cu, Cr, Pb, Cd) in aquatic invertebrates from the hyperhaline Kuyalnyk estuary (Ukraine, North-Western Black Sea region). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2025. Вип. 32. С. 124 – 133. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-09>

In cites: Shykhaleyeva, G. M., & Kiryushkina, G. M. (2025). Accumulation of heavy metals (Cu, Cr, Pb, Cd) in aquatic invertebrates from the hyperhaline Kuyalnyk estuary (Ukraine, North-Western Black Sea region). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (32), 124 - 133. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-09>

© Shykhaleyeva G. M., Kiryushkina G. M., 2025



This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.

Introduction

The hypersaline conditions of the Kuyalnyk Estuary (KE) severely limit biodiversity [1-2], as in many saline water bodies [3-5].

It should be noted that saline ecosystems are widespread on all continents and have distinct geochemical properties and biodiversity of extremophiles, which provides invaluable economic value (such as salt, *Artemia* cyst and nauplii, chironomid larvae as a product of aquaculture, *Artemia* as a promising new agent for biomedical applications, etc.) [6-10].

In salt lakes and in particular in the KE, *A. salina* is the dominant macrozooplankton [6, 11, 12]. *Artemia* populations are adapted to a wide range of salinity (45-300 pps), temperature (<6 to 35°C), and to different ionic compositions of brine. Moreover, pH values which they can tolerate vary from neutral to highly alkaline. During periods of higher water availability in the estuary (2004-2005), of *Ch. salinarius* larvae were recorded at a depth of 0.3-0.5 m in the coastal zone.

It should be noted that since the KE is a shallow water body, *A. salina* is mainly found in bottom sediments, as well as chironomid larvae (bloodworms) [12].

Among the live diets used in the larviculture of fish and shellfish, nauplii of the brine shrimp *Artemia* constitute the most widely used food item. Chironomid larvae are also

excellent food items for both vertebrates and invertebrates [6, 8, 10, 13-15].

Today, hypersaline ecosystems are increasingly threatened by anthropogenic pressures, such as pollution. Among the most harmful pollutants are heavy metals, which are of particular concern due to their toxicity, potential to accumulate in the biomass of aquatic species and in the food chain, causing ecological damage and posing a threat to biota and human health through bioaccumulation over time [16-19].

They include essential elements such as copper, chromium, iron, and others, as well as toxic metals such as lead, cadmium and mercury.

Heavy metal pollution of the aquatic environment is determined by measuring their concentration in water, sediments and living organisms.

Our research has shown that in recent decades, the content of heavy metals in the water and sediments of the KE almost always reaches excessive levels [20-21]. Some results for heavy levels of metals in water plants from the KE are presented in our work [22].

This article is the first to consider the peculiarities of migration and accumulation of a number of metals (Cu, Cr, Pb, Cd) in the components (the invertebrates – *A. salina* (adult brine shrimp, eggs) and *Ch. salinarius* larvae, water, bottom sediments) of the hypersaline KE ecosystem.

Materials and methods

Materials for the study were simultaneously collected samples of *A. salina* salt shrimp and eggs (cysts), *Ch. salinarius* larvae, water and bottom sediments in the central part of the KE in autumn 2004-2005 (Fig. 1).

The coordinates of the observation stations were determined using GPS navigator.

Representatives of invertebrates – *A. salina* and *Ch. salinarius* belong to the type *Arthropoda*, classes *Branchiopoda* and *Insecta* and families *Artemiidae* and *Chironomidae* respectively.

Collection, fixation and processing of the collected material was carried out according to standard hydrobiological methods [23].

The water temperature, dissolved oxygen, pH, salinity were measured in situ.

A portable conductometer 'Sension 5' and an oximeter 'Sension 6' were used to determine the mineralisation and dissolved oxygen in water respectively. Water temperature was measured using a TL-4 glass thermometer with the scale of 0,1°C, pH – using a self-powered pH meter pH-150 MI at the time of sampling.

The content of heavy metals in water, bottom sediments and biological objects was assessed by atomic absorption spectrophotometry (electrothermal variant) using a «Saturn 3P» spectrophotometer with a «Graphite 2».

For this purpose, appropriate sample preparation was carried out: samples of water, bottom sediments and hydrobionts were dried to a dry residue at a temperature of +105°C. After that, dry mineralization of the samples was carried out in a muffle furnace at a temperature of

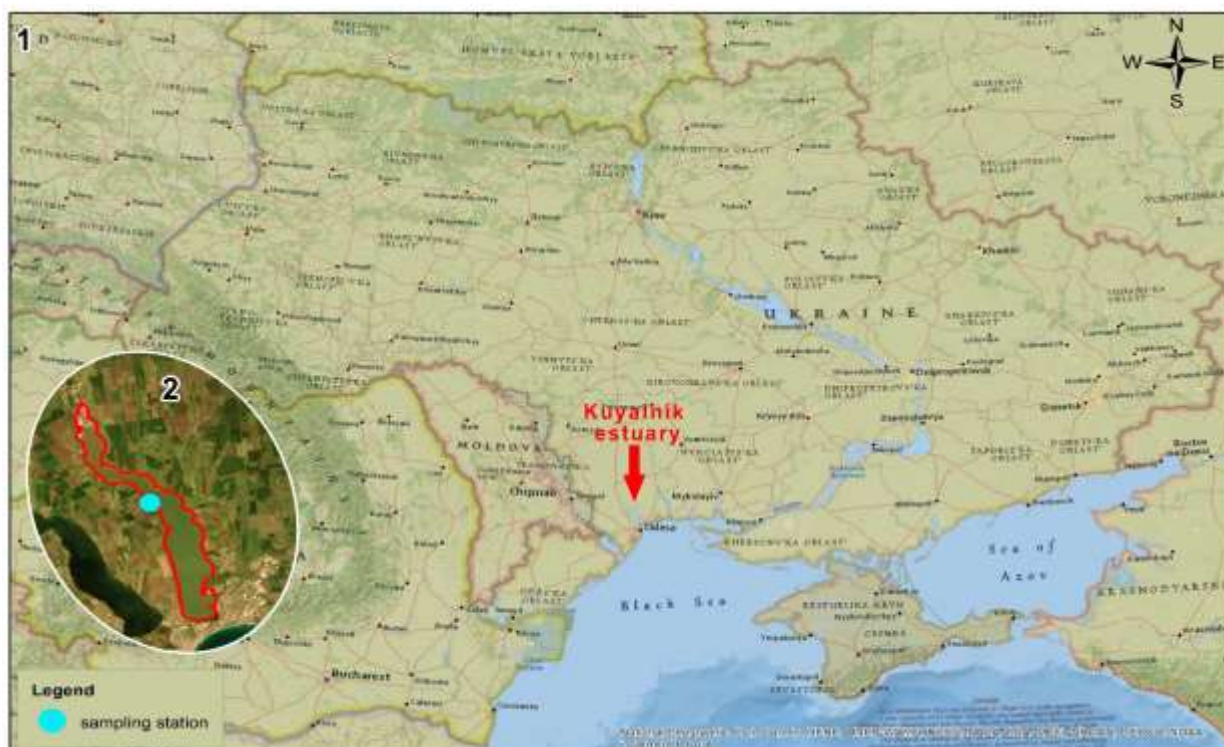


Fig. 1 – Location of Kuyalnik estuary on the territory of Ukraine: 1 – Map of Ukraine (red arrow shows the geographical location of the KE); 2 – Kuyalnik Estuary and sampling station

450°C, followed by dissolution of the ash residue in a nitric acid solution.

The heavy metals contents were measured in the biomass of mature individuals of the brine shrimp and eggs *A. salina* and *Ch. salinarius* larvae.

Metal content was calculated in terms of dry matter. The concentration (C) of metals in water was expressed in mg/dm³, and in sediments and biological objects in mg/kg dry weight.

The degree of metal accumulation in bioobjects was assessed by using the biological absorption factor (BAF) [24-26]. Accumulation factors, were considered in order to estimate heavy metal contamination loads in biota.

BAF is the ratio of the concentration of heavy metals in biota to the concentration of heavy metals in the surrounding aquatic environment (water, bottom sediments), which is determined by the formula given below [26]:

$$BAFA(B) = C_{biota}/CA(B)$$

where C_{biota} – concentration of heavy metals in a bioobject,

CA(B) – concentration of heavy metals in water (bottom sediments).

Biota-water (BAFA) and biota-bottom sediment (BAFB) accumulation factors, commonly used for the evaluation of water and sediments role in aquatic systems contamination, were determined for the considered metals.

An important indicator in studying the mechanism of redistribution of pollutants from the aquatic environment to bottom sediments is the bottom accumulation coefficient (CBA), which is calculated using the formula [27]:

$$CBA = CB / CA$$

where CB – concentration of heavy metals in a bottom sediments,

CA – concentration of heavy metals in a water.

A correlation has also been found between levels of heavy metals in the aquatic organism and in water and in bottom sediments.

Results and discussion

A feature of hyperhaline KE is the significant variability of the water regime. It is

characterized by quick fluctuations in water level and salinity. In terms of hydrochemistry,

the KE is a reservoir sodium-chloride type reservoir. The main cations are Na^+ , K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} , and the main anions are Cl^- , SO_4^{2-} and HCO_3^- .

During the sampling, the salinity of the water in the central part of the KE water area ranged from 109 to 160 ‰, the pH value ranged from neutral to slightly alkaline (7.3 to 7.8), and the concentration of dissolved oxygen in the water ranged from 6.6 to 10.1 mg/dm³, the temperature – ranged from 16 to 18 °C.

The maximum density of the shrimp *A. salina* in plankton and eggs in the bottom sediments during this period was 33600 units/m³ and over 6 million units/m², respectively, and of *Ch. salinarius* larvae – 33600 units/m².

The content of heavy metals in aquatic organisms and their habitat (water, bottom sediments) is presented in the figure 2.

In the water, the concentrations of heavy metals were the lowest (Fig. 2).

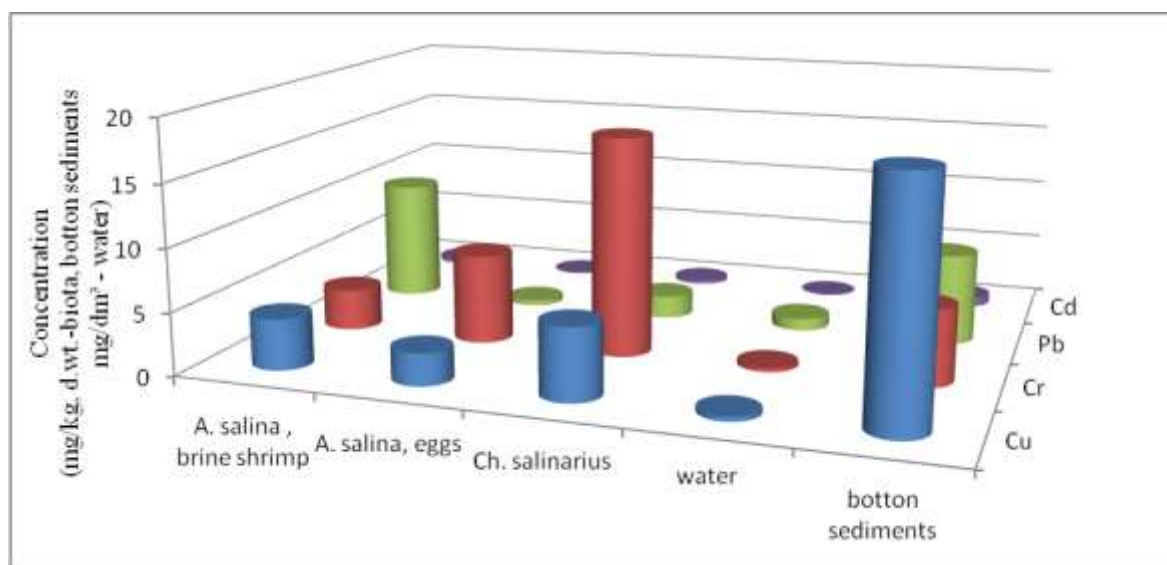


Fig. 2 – Heavy metal concentrations in biota, bottom sediments and estuary water

The levels of all trace elements tested were significantly higher in the bioobject samples than in water. It should be noted that the heavy metal content in the bottom sediments of the KE was significantly higher than in water or aquatic organisms (with the exception of lead in biomass *A. salina* and chromium in *A. salina* eggs and *Ch. salinarius* larvae). The accumulation of heavy metals in bottom sediments is usually caused by solubility in water, the tendency of metals to adsorb on solid phases and enter into complexation reactions. Which is primarily related to the oxidising potential, temperature, pH of the environment, organic matter content etc.

Heavy metals in aquatic organisms also varied depending on the species and the developmental stage of the organism. Moreover, the concentrations of Pb and Cd were highest in the sea shrimp *A. salina*, and Cr – in the larvae of *Ch. salinarius*. Different species

have varying sensitivities to heavy metals, and the impact can also differ greatly at various stages of development. For example, Pb, Cu and Cd were more abundant in the brine shrimp *A. salina*; Cr – in the eggs (Fig. 2).

The obtained average indicators of heavy metals in the components of the aquatic environment of the KE are the following regressive series: $\text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Cd}$ (water); $\text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Cd}$ (bottom sediments); $\text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Cd}$ (brine shrimps and eggs of *A. salina*); $\text{Cr} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cd}$ (larvae of *Ch. salinarius*).

For water KE, which is used for recreational purposes, excess content of lead and cadmium.

The concentrations of toxic lead and cadmium in biota do remain below limits European Union standards for animal feed [28].

The biological accumulation factors biota-water (BAFA) and biota-bottom sediments

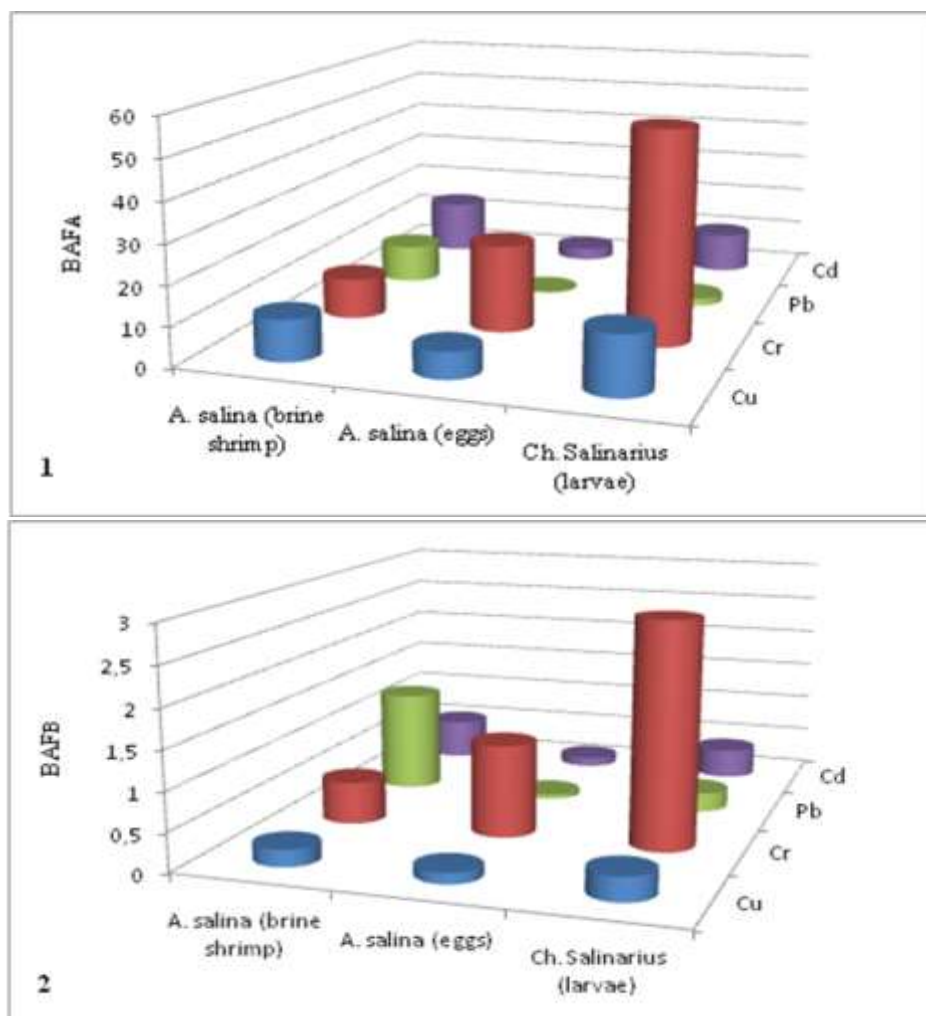


Fig. 3 – The coefficient of biological accumulation of heavy metals by the *A. salina* (brine shrimp, eggs) and the *Ch. salinarius* (larvae): 1 – BAFA, 2 – BAFB

(BAFB) of different aquatic invertebrate groups for the four metals is presented in Fig. 3.

The biological uptake coefficients (Fig. 3) show that the bulk of the pollutants migrate to the biota from water.

The *A. salina* brine shrimp can accumulate the most Cd from water, where as eggs *A. salina* and *Ch. salinarius* larvae can accumulate the most Cr from water (see Fig. 3.1).

The BAF_B of Pb and Cr in *A. salina* (brine shrimp, eggs) was greater than 1. The BAF_B of Cr in *Ch. salinarius* larvae was even greater than 2 and BAF_B of all other metals was less than 1. (see in fig. 3.2).

Overall, BAFA and BAFB value greater than 1 indicates that of metal may be accumulated in biota.

According to [29], the BAF > 1000 – a very high level of accumulation;

100-1000 – a high level of accumulation;

30-100 – a medium/moderate level of accumulation;

< 30 – a low level of accumulation.

The higher the value of the BAF in an organism, the higher the accumulation of heavy metals in that organism.

Biological accumulation coefficients (Fig. 3) show that the bulk of pollutants migrate into biota from water.

The calculations of bioaccumulation coefficients (Fig. 3) and bottom accumulation (Fig. 4) show that bottom sediments accumulate copper and cadmium more, and the studied hydrobionts – lead and chromium, which indicates the ability to selectively accumulate certain elements from water.

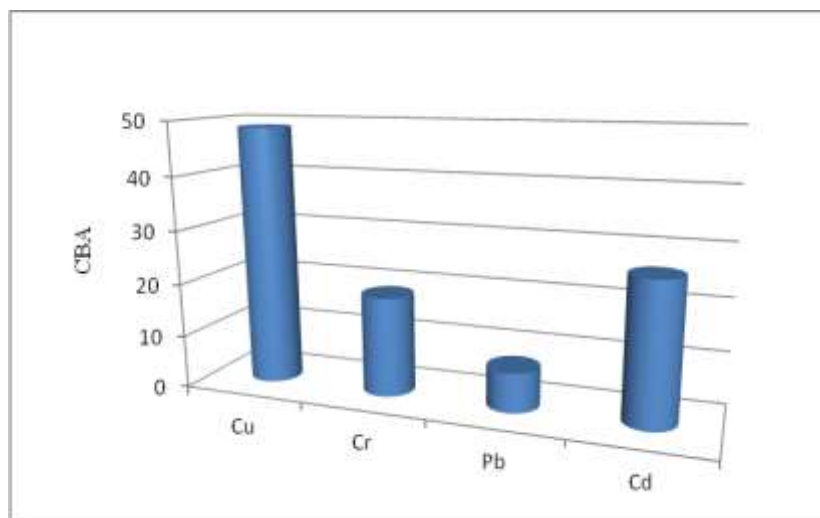


Fig. 4 – The coefficient of bottom accumulation (CBA) of heavy metals in the central part of the KE

Therefore, the obtained results allow stating that the ecosystem KE is significantly polluted by heavy metals, especially lead, cadmium and chromium. This was adequately reflected in the levels of heavy metals accumulation in aquatic organisms.

The analysis correlation showed that the tightest positive relationship was observed between heavy metal concentrations in water and

biomass of the salt shrimp *A. salina* ($r = 0.998$). The correlation between the concentrations of heavy metals in water and larvae of *Ch. salinarius* was minus 0.134, and a weak relationship was observed between biota and bottom sediments ($r = 0.108-0.269$). The correlation coefficient between the concentrations of heavy metals in the water and bottom sediments of the KE was 0.245.

Conclusions

This is the first study of the accumulation of Cr, Cu, Pb, Cd in of biomass brine shrimps and cysts (eggs) of *A. salina* and the *Ch. salinarius* larvae from the Kuyalnyk Estuary.

Analysis of bioaccumulation coefficients indicates the efficient transfer of heavy metals to biota mainly from water.

It has been established that the brine shrimp *A. salina* are concentrators of lead and cadmium (BAFA – 9,8 and 13,8 respectively), and *Ch. salinarius* larvae are concentrators of chromium (BAFA – 54,2).

Our research shows that concentrations of toxic lead and cadmium do remain below limits European Union standards for animal feed. Thus, the biomass brine shrimp and eggs *A. salina* and *Ch. salinarius* larvae from the Kuyalnyk estuary are suitable as food for vertebrates and invertebrates and are effective as bioindicators of heavy metals in aquatic ecosystems.

The results obtained have theoretical and practical significance for the preparation of scientific and biological justifications for the use of biological resources of the KI and saline water bodies in general.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this manuscript. In addition, the ethical issues, including plagiarism, informed consent, misconduct, data fabrication and/or falsification, double publication and/or submission, and redundancies have been completely observed by the authors.

Project compliance

The study was carried out within the framework of research work No. 373 «Migration of heavy metals (Cu, Cd, Cr, Pb, Fe, Zn, Mn, Al, V) through aquatic and terrestrial ecosystems of the Kuyalnik Estuary»

References

1. Gerasimiyuk, V.P., Ennan, A.A.-A., & Shykhaleeva, G.M. (2021). Algae. In P.M. Tsarenko, & A.A.-A. Ennan (Eds.). *Encyclopedia of Kuyalnyk Estuary: in 8 vol. (Vol. 2)*. Kyiv: Osvita Ukraine. (In Ukrainian).
2. Ennan, A.A.-A., Shikhaleeva, G.M., Tsarenko, P.M., & Kiryushkina, H.M. (2022). Algoflora of the Kuyalnik Estuary: current state and long-term dynamics. *Algologia*. 32(3), 224–250. <https://doi.org/10.15407/alg32.03.224>. (In Ukrainian).
3. Muluneh, M.G. (2021). Impact of climate change on biodiversity and food security: a global perspective – a review article. *Agric & Food Secur.* 10(1), 36. <https://doi.org/10.1186/S40066-021-00318-5>
4. Wurtsbaugh W. A., Miller C., Null S. E., De Rose R. J., Wilcock P., Hahnenberger M., Howe F. & Moore J. (2017). Decline of the world's saline lakes. *Nature Geoscience*. 10(11), 816–821. <https://doi.org/10.1038/ngeo3052>
5. Anufrieva E.V., Shadrin N.V. (2023). Salinity as a Factor Limiting the Potential Taxonomic Richness of Crustaceans in Ecosystems of Hypersaline Reservoirs around the World. *Inland Water Biology*. 16(5), 892–898. <https://doi.org/10.1134/S1995082923050036>
6. Use of Artemia as a Food Source for Aquaculture. In book: *Artemia Biology*. D. A. Bengtson, Ph. Léger, P. Sorgeloos (Eds.). (2018). 255-286. <https://doi.org/10.1201/9781351069892-11>
7. Van Stappen G., Sui L., Van Nguyen Hoa, Montakan Tamtin, Betty Nyenje, Renato de Medeiros Rocha, Patrick Sorgeloos, Gonzalo Gajardo (2020). Review on integrated production of the brine shrimp *Artemia* in solar salt ponds. *Aquaculture*. 12(2), 1054-1071. <https://doi.org/10.1111/raq.12371>
8. Madkour K., Dawood M.A.O., Sewilam H. (2022). The use of Artemia for aquaculture industry: An updated overview. *Annals of Animal Science*. 23. <https://doi.org/10.2478/aoas-2022-0041>
9. Abo-Taleb H., Khattab A., Bashar M.A.E., Mehany A.B.M. (2025). Zooplankton biomass as a promising new agent for biomedical applications. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 1(65), 103560. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2025.103560>
10. Williams D.D., Williams S.S., Huis A. (2021). Can we farm aquatic insects for human food or livestock feed? *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(2), 121-127. Retrieved from <https://www.wageningenacademic.com/doi/pdf/10.3920/JIFF2021.x002>
11. Gajardo G. M., Beardmore J.A. (2012). The Brine Shrimp *Artemia*: Adapted to Critical Life Conditions. *Front Physiol*. 22(3), 185. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00185>
12. Adobowsky V.V., Shikhaleeva G.N., Shurova G.N. (2002). Modern state and ecological problems of the Kuyalnik estuary. *Ecological safety of coastal and shelf zones and comprehensive use of shelf resources: collection of scientific works*, Sevastopol. 1(6), 71–81. (In Ukrainian).
13. Mohseni M., Pajand Z., Hashemi O., Sarpanah A.N., Vaghei R.Gh., Sohrabi T., Abdolhay H.A., Hassani M.H. S., Shokri M.M., Yeganeh H., Ghasemian S., Yousefi S. (2025). Effects of different live Artemia and chironomid larvae and dry feeds in adaptation to weaning strategies on growth performance, survival rate and digestive enzyme of Siberian sturgeon, *Acipenser baeri*. *Aquatic Animals Nutrition*. 10(4), 35-54. <https://doi.org/10.22124/janb.2024.28696.1259>
14. Efatpanah I., Falahatkar B., Sajjadi M.M., Shokri M. M. (2024). The effect of feeding with chironomid and artemia on fatty acids and amino acids profiles in Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) larvae. *Aquaculture Nutrition*. 6975546. <https://doi.org/10.1155/2024/6975546>
15. Kolesnyk N., Simon M., Marenkov O., Nesterenko O. (2020). Cultivation of dipterous (Diptera Linnaeus, 1758) insects, such as fruit flies, synanthropic flies larvae and chironomids larvae for fish feeding (review). *Ribogospod. nauka Ukr.*. 2020. Vol. 1. N 51. P. 53-78. DOI: <https://doi.org/10.15407/fsu2020.01.053> (In Ukrainian).
16. Boran M., Altınok I. (2010). A Review of Heavy Metals in Water, Sediment and Living Organisms in the Black Sea. *Turk. J. Fish. Aquat. Sci.* 10(4), 565-572. <https://doi.org/10.4194/trjfas.2010.0418>
17. Valiente N., Jirsa F., Gómez-Alday J.J. (2022). Saline lakes as barriers against pollution: a multidisciplinary overview. *Limnetica*. 41(2), 281-303. <https://doi.org/10.23818/limn.41.17>
18. Outa J. O., Kowenje C. O., Avenant-Oldewage A., Jirsa F. (2020). Trace Elements in Crustaceans, Mollusks and Fish in the Kenyan Part of Lake Victoria: Bioaccumulation, Bioindication and Health Risk Analysis. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 78, 589–603. <https://doi.org/10.1007/s00244-020-00715-0>
19. Jeong H., Byeon E., Kim D-H., Maszczyk P., Lee J-S. (2023). Heavy metals and metalloid in aquatic invertebrates: A review of single/mixed forms, combination with other pollutants, and environmental factors. *Marine Pollution Bulletin*. 191, 114959. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114959>

20. Ennan, A.A., Shykhalyeyev, I.I., Shykhalyeyeva, G.N., Adobovsky, V.V., & Kiryushkina, A.N. (2014). Effects of Kuyalnik estuary degradation (Northwest Black Sea Region, Ukraine). *Herald of Odessa National University. Chemistry*. 19. 3(51), 60-69. [https://doi.org/10.18524/2304-0947.2014.3\(51\).40404](https://doi.org/10.18524/2304-0947.2014.3(51).40404) (In Ukrainian).
21. Shikhaleeva G.M., Ennan A.A., Chursina O.D. Shikhaleyev I.I., Yurchenko Yu.Yu. (2017). Ecological and geochemical assesement of Kuyalnik Estuary. Biology and valeology: collection of scientific works of the Kharkiv National Pedagogical University named after G.S. Skovoroda. Kharkiv. 19, 199-207. <http://doi.org/10.5281/zenodo.1109597> (In Ukrainian).
22. Shikhaleeva, G.N., Ennan A.A., Gerasim'yuk V.P., Chursina O.D., Babinets S.K., & Kiryushkina G.M. (2010). Bioindication of heavy metals by macroalgae of Kuyalnik estuary (North-Western Black Sea Coast). *Sci. notes of Ternopol' Volodymyr Hnatiuk National pedagogical Univ. Series Biology*. 3 (44), 317–320. (In Ukrainian).
23. Arsen O.M., Romanenko V.D. (2006). Methods of hydroecological research of surface waters. K., LOGOS, 408. (in Ukrainian).
24. Rahayu D.R., Anggoro S., Soeprowati T.R. (2020) Metal Concentrations and Bio-Concentration Factor (BCF) in Surface Water and Economical Fish Species from Wadaslintang Multipurpose Dam, Wonosobo, Indonesia. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 593(1), 012024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/593/1/012024>
25. Sauliūtė G, Stankevičiūtė M, Svecevičius G, Baršienė J and Valskienė R (2017). Assessment of heavy metals bioconcentration factor (BCF) and genotoxicity response induced by metal mixture in *Salmo salar* tissues Proc. Int. Conf. on Environmental Engineering (Lithuania: Vilnius Gediminas Technical University Press). <https://doi.org/10.3846/enviro.2017.043>
26. Ziyaadini M., Yousefiyanpour Z., Ghasemzadeh J., Zahedi M.M. (2017). Biota–sediment accumulation factor and concentration of heavy metals (Hg, Cd, As, Ni, Pb and Cu) in the sediments and tissues of *Chiton lamyi* (Mollusca: Polyplacophora: Chitonidae) in Chabahar Bay, Iran. *Iran. J. Fish. Sci.* 16(4), 1123–1134. Retrieved from <http://jifro.ir/article-1-2952-fa.htm>
27. Romanenko V. D. Krot Yu. G., Kyryziy T. Ya. et al. (2012). Natural and artificial bioplateaus. Fundamental and practical aspects. K.: Nauk. Dumka, 110 p. (In Ukrainian).
28. Directive 2002/32/EC of the European Parliament and of the Council of 7 May 2002 on undesirable substances in animal feed. Official Journal of the European Union ю 30.5.2002. L 140/10.
29. Van Esch G.J. (1977). Aquatic pollutant and their potential ecological effects in aquatic pollution: transformation and biological effects Proc. of the 2nd Int. Symp. on Aquatic Pollutans (Amsterdam: Pergamon Press). 1–12.

The article was received by the editors 28.04.2025

The article is recommended for printing 05.06.2025

Г. М. ШИХАЛЄЄВА, канд. хім. наук,

провідний науковий співробітник відділу моніторингу навколишнього середовища
e-mail: i.l.monitoring@ukr.net ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1475-4415>

Г. М. КІРЮШКІНА,

старший науковий співробітник відділу моніторингу навколишнього середовища
e-mail: i.l.monitoring@ukr.net ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4445-9879>

¹Фізико-хімічний інститут захисту здоров'я людини і довкілля

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова,

вул. Преображенська, 18, м. Одеса 65082, Україна

НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ (Cu, Cr, Pb, Cd) У ВОДНИХ БЕЗХРЕБЕТНИХ З ГІПЕРГАЛИННОГО КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ (УКРАЇНА, ПІВНІЧНО-ЗАХІДНЕ ПРИЧОРНОМОР'Я)

Мета. Визначення вмісту ряду металів (Cu, Cr, Pb, Cd) та дослідження особливостей їх міграції і накопичення в компонентах (жаброногі рачки *Artemia salina*, хірономіди *Chironomus salinarius*, вода, донні відкладення) екосистеми Куяльницького лиману (Кл).

Методи. Гідробіологічні, атомно-абсорбційної спектрофотометрії, автоматизовані методи аналізу, статистичні.

Результати. Це перше дослідження накопичення Cr, Cu, Pb, Cd у біомасі жабрових ракоподібних *A. salina* та личинок *Ch. salinarius*, вилучених з гіпергалінного Куяльницького лиману. Визначено, що середні показники вмісту важких металів у компонентах водного середовища представлені такими регресійними рядами: Вода: Pb > Cu > Cr > Cd; Донні відкладення: Cu > Pb > Cr > Cd; Рачки та цисти *A. salina*: Pb > Cu > Cr > Cd; Личинки *Ch. salinarius*: Cr > Cu > Pb > Cd. Показано інтенсивне накопичення важких металів у донних відкладах, рачках *A. salina* та личинках *Ch. salinarius* порівняно з водою, що підтверджено коефіцієнтами донної акумуляції та біонакопичення. *A. salina* та личинки хірономід *Ch. salinarius* є ефективними концентраторами досліджених важких металів, особливо свинцю і хрому. Виявлено, що *A. salina* інтенсивніше накопичує Pb та Cd, тоді як *Ch. salinarius* найбільше акумулює Cr.

Висновки. Гідробіонти Куяльницького лиману (*A. salina* та *Ch. salinarius*) є інформативними біоіндикаторами хімічного забруднення водойм важкими металами, з ефективним переходом цих металів до біоти переважно з води. Концентрації Cd та Pb у цих організмах не перевищують допустимих рівнів для кормів тварин, що вказує на їх потенційну безпечність для використання. Отримані дані мають значення для науково-біологічного обґрунтування використання біоресурсів Куяльницького лиману та засолених водойм загалом.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: гіпергалінний Куяльницький лиман, важкі метали, водні безхребетні організми, концентрація, коефіцієнт біологічного накопичення, біоіндикація

Список використаної літератури

1. Енциклопедія Куяльницького лиману: у 8 томах. За ред. А.А.-А. Еннана. Том 2. Герасимюк В.П., Еннан А.А.-А., Шихалєєва Г.М. Водорості. За ред. П.М. Царенко, А.А.-А. Еннана. Київ: Освіта України, 2021. 438 с.
2. Еннан А.А.-А., Шихалєєва Г.М., Царенко П.М., Кірюшкіна Г.М. Альгофлора Куяльницького лиману: сучасний стан і багаторічна динаміка. *Algologia*. 2022. Т. 32. № 3. С. 224–250. DOI: <https://doi.org/10.15407/alg32.03.224>
3. Muluneh M.G. Impact of climate change on biodiversity and food security: a global perspective – a review article. *Agric & Food Secur.* 2021. Vol. 10. N 1. 36. DOI: <https://doi.org/10.1186/S40066-021-00318-5>
4. Wurtsbaugh, W.A., Miller, C., Null, S.E., DeRose, R.J., Wilcock, P., Hahnenberger, M., Howe, F. & Moore, J. Decline of the world's saline lakes. *Nature Geoscience*. 2017. Vol. 10. N 11. P. 816–821. DOI: <https://doi.org/10.1038/ngeo3052>
5. Anufrieva E.V., Shadrin N.V. Salinity as a Factor Limiting the Potential Taxonomic Richness of Crustaceans in Ecosystems of Hypersaline Reservoirs around the World. *Inland Water Biology*. 2023. Vol. 16. N 5. P. 892–898. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995082923050036>
6. Use of Artemia As a Food Source for Aquaculture. In book: *Artemia Biology*. By D. A. Bengtson, Ph. Léger, P. Sorgeloos. 2018. P.255-286. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781351069892-11>
7. Van Stappen G., Sui L., Van Nguyen Hoa, Montakan Tamtin, Betty Nyenje, Renato de Medeiros Rocha, Patrick Sorgeloos, Gonzalo Gajardo. Review on integrated production of the brine shrimp *Artemia* in solar salt ponds. *Aquaculture*. 2020. Vol. 12, N 2. P.1054-1071. <https://doi.org/10.1111/raq.12371>
8. Madkour K., Dawood M.A.O., Sewilam H. The use of Artemia for aquaculture industry: An updated overview. *Annals of Animal Science*. 2022. Vol.23. DOI: <https://doi.org/10.2478/aoas-2022-0041>
9. Abo-Taleb H., Khat tab A., Bashar M.A.E., Mehany A.B.M. Zooplankton biomass as a promising new agent for biomedical applications. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2025. Vol. 65. 103560. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2025.103560>
10. Williams D.D., Williams S.S., Huis A. Can we farm aquatic insects for human food or livestock feed? *Journal of Insects as Food and Feed*, 2021; 7(2): 121-127. URL: <https://www.wageningenacademic.com/doi/pdf/10.3920/JIFF2021.x002>
11. Gajardo G. M., Beardmore J.A. The Brine Shrimp *Artemia*: Adapted to Critical Life Conditions. *Front Physiol.* 2012, Vol. 22, 3:185. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00185>
12. Адобовский В.В., Шихалєєва Г.Н., Шурова Н.М. Современное состояние и экологические проблемы Куяльницького лимана. *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*: зб. наук. пр. Севастополь, 2002. № 1(6). С. 71–81.
13. Mohseni M., Pajand Z., Hashemi O., Sarpanah A.N., Vaghei R.Gh., Sohrabi T., Abdolhay H.A., Hassani M.H.S., Shokri M.M., Yeganeh H., Ghasemian S., Yousefi S. Effects of different live Artemia and chironomid larvae and dry feeds in adaptation to weaning strategies on growth performance, survival rate and digestive

- enzyme of Siberian sturgeon, *Acipenser baeri*. *Aquatic Animals Nutrition*. 2025. Vol. 10, No. 4. P. 35-54. DOI: <https://doi.org/10.22124/janb.2024.28696.1259>
14. Efatpanah I., Falahatkar B., Sajjadi M.M., Shokri, M. M. The effect of feeding with chironomid and artemia on fatty acids and amino acids profiles in Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) larvae. *Aquaculture Nutrition* 2024. P. 6975546. <https://doi.org/10.1155/2024/6975546>
 15. Kolesnyk N., Simon M., Marenkov O., Nesterenko O. Cultivation of dipterous (*Diptera* Linnaeus, 1758) insects, such as fruit flies, synanthropic flies larvae and chironomids larvae for fish feeding (review). *Ribogospod. nauka Ukr.* 2020. Vol. 1. N 51. P. 53-78. DOI: <https://doi.org/10.15407/fsu2020.01.053>
 16. Boran1 M., Altinok I. A Review of Heavy Metals in Water, Sediment and Living Organisms in the Black Sea. *Turk. J. Fish. Aquat. Sci.* 2010. Vol. 10. N 4. P. 565-572. <https://doi.org/10.4194/trjfas.2010.0418>
 17. Valiente N., Jirsa F., Gómez-Alday J.J.. Saline lakes as barriers against pollution: a multidisciplinary overview. *Limnetica*. 2022. Vol. 41. N 2. P. 281-303. DOI: <https://doi.org/10.23818/limn.41.17>
 18. Outa J. O., Kowenje C. O. Avenant-Oldewage A. Jirsa F. Trace Elements in Crustaceans, Mollusks and Fish in the Kenyan Part of Lake Victoria: Bioaccumulation, Bioindication and Health Risk Analysis. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2020. Vol. 78. P.589–603. <https://doi.org/10.1007/s00244-020-00715-0>
 19. Jeong H., Byeon E., Kim D-H., Maszczyk P., Lee J-S. Heavy metals and metalloid in aquatic invertebrates: A review of single/mixed forms, combination with other pollutants, and environmental factors. *Marine Pollution Bulletin*. 2023. Vol. 191. P. 114959. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114959>
 20. Еннан А.А., Шихалєєв І.І., Шхалєєва Г., Адобовський В.В., Кірюшкіна Г.М. Причини і наслідки деградації Куяльницького лиману (Північно-Західне Причорномор'я, Україна). *Вісник Одеського національного університету. Хімія*, 2014. Т.19. № 3(51). С.60–69. [https://doi.org/10.18524/2304-0947.2014.3\(51\).40404](https://doi.org/10.18524/2304-0947.2014.3(51).40404)
 21. Shikhaleeva G.M., Ennan A.A., Chursina O.D. Shikhaleyev I.I., Yurchenko Yu.Yu. Ecological and geochemical assesement of Kuaylnik Estuary. *Біологія та валеологія: зб. наук. пр. Харківського національного педагогічного університету імені Г. С. Сковороди*. Харків. 2017. № 19. С. 199-207. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.1109597>
 22. Шихалєєва Г.М., Еннан А.А., Герасим'юк В.П., Чурсіна О.Д., Бабінець С.К., Кірюшкіна Г.М. Біоіндикація важких металів макроводоростями Куяльницького лиману (Північно-Західне Причорномор'я). *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2010. № 3 (44). С. 317–320.
 23. Арсен О.М., Романенко В.Д. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод., 2006. К.: ЛОГОС. 408 с.
 24. Rahayu, D.R.; Anggoro, S.; Soeprbowati, T.R. Metal Concentrations and Bio-Concentration Factor (BCF) in Surface Water and Economical Fish Species from Wadaslintang Multipurpose Dam, Wonosobo, Indonesia. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2020. Vol. 593. N 1. P. 012024. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/593/1/012024>
 25. Sauliūtė G., Stankevičiūtė M., Svecėvičius G., Baršienė J. and Valskienė R. Assessment of heavy metals bio-concentration factor (BCF) and genotoxicity response induced by metal mixture in *Salmo salar* tissues Proc. Int. Conf. on Environmental Engineering (Lithuania: Vilnius Gediminas Technical University Press). 2017. DOI: <https://doi.org/10.3846/enviro.2017.043>
 26. Ziyaadini, M.; Yousefiyanpour, Z.; Ghasemzadeh, J.; Zahedi, M.M. Biota-sediment accumulation factor and concentration of heavy metals (Hg, Cd, As, Ni, Pb and Cu) in the sediments and tissues of *Chiton lamyi* (Mollusca: Polyplacophora: Chitonidae) in Chabahar Bay, Iran. *Iran. J. Fish. Sci.* 2017, Vol. 16. N 4. P. 1123–1134. URL: <http://jifro.ir/article-1-2952-fa.htm>
 27. Романенко В.Д. Природні і штучні біоплато /В.Д. Романенко, Ю. Г. Крот, Т. Я. Киризія [та ін.]. Фундаментальні та практичні аспекти. К.: Наук. думка, 2012. 110 с.
 28. Directive 2002/32/EC of the European Parliament and of the Council of 7 May 2002 on undesirable substances in animal feed. Official Journal of the European Union ю 30.5.2002. L 140/10.
 29. Van Esch G. J. Aquatic pollutant and their potential ecological effects in aquatic pollution: transformation and biological effects Proc. of the 2nd Int. Symp. on Aquatic Pollutans (Amsterdam: Pergamon Press) 1977. P. 1–12.

Стаття надійшла до редакції 28.04.2025

Стаття рекомендована до друку 05.06.2025

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-10>
УДК 632.51

В. С. ФЕДЕНКО, канд. хім. наук, с. н. с.,
старший науковий співробітник Науково-дослідного інституту біології
e-mail: opticlub.fedenko@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4696-6981>
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
проспект Науки, 72, м. Дніпро, 49045, Україна

СПЕКТРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КВІТОК ІНВАЗІЙНОГО ВИДУ-ГЕЛІОФІТУ *ERIGERON CANADENSIS L.*

Мета. Визначення спектральних характеристик квіток *Erigeron canadensis L.* для підтвердження фотопротекторного ефекту флавоноїдів та ідентифікації сировини.

Методи. Спектри відбиття отримували в діапазоні 350–800 нм. Колориметричні параметри визначали в системах CIE XYZ та CIE $L^*a^*b^*$. Для додаткової ідентифікації флавоноїдів проводили екстракцію квіток ізопропанолом та хемосорбцію сполук з екстракту на поверхні біосумісного оксиду алюмінію із наступним визначенням спектральних характеристик.

Результати. Відбір квіток проводили на стадії цвітіння на відкритій території лука біля річки Мокра Сура (Новоолександрівка, Дніпропетровська область) з урахуванням, що найкращий розвиток геліофітів спостерігається за умов повного освітлення. Вперше визначено відбивальні та колориметричні характеристики квіток для з'ясування світлопоглинальної здатності злинки канадської як інвазійного виду-геліофіту на стадії цвітіння. Визначальною особливістю спектрів відбиття квіток є підвищення інтенсивності максимуму УФ-поглинальних флавоноїдів порівняно із каротиноїдами та хлорофілами, які локалізовані у поверхневих тканинах. Диференціювання спектральної кривої відбиття квіток виявилось ефективним способом збільшення ступеня розподілення виявлених максимумів. Досліджені квітки також охарактеризовано специфічною сукупністю колориметричних параметрів. Флавоноїди як біологічно активні компоненти ідентифіковані завдяки хелатувальним властивостям шляхом хемосорбції із рослинного екстракту на біосумісному оксиді алюмінію та наступного визначення відбивальних та колориметричних характеристик продукту взаємодії.

Висновки. Підвищена локалізація флавоноїдів, що поглинають ультрафіолет, у поверхневих тканинах квіток обумовлює збільшення фотопротекторної здатності як адаптивне підсилення репродуктивної системи інвазійного виду-геліофіту. Результати можуть бути застосовані для підтвердження функціональних ознак інвазивності адвентивних рослин, а також для ідентифікації сировини злинки канадської та при використанні ресурсного потенціалу цього виду для отримання біологічно активних препаратів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: злинка канадська, УФ-поглинальні флавоноїди, фотозахисний ефект, відбивальна характеристика, колориметрична характеристика

Як цитувати: Феденко В. С. Спектральні характеристики квіток інвазійного виду-геліофіту *Erigeron canadensis L.* Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія». 2025. Вип. 32. С. 134 - 145. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-10>

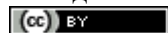
In cites: Fedenko, V. S. (2025). Flowers spectral characteristics of the invasive heliophyte species *Erigeron canadensis L.* Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology, (32), 134 - 415. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-10> (in Ukrainian)

Вступ

У сучасних дослідженнях інвазійних рослин слід відзначити два актуальних напрями. Перший напрям пов'язують з експериментальним підтвердженням гіпотез, які

пояснюють причини інвазивності адвентивних видів [1], а другий – із практичним використанням ресурсного потенціалу інвазійних рослин за різним призначенням [2].

© Феденко В. С., 2025



[This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Серед інвазійних рослин привертає увагу злинка канадська *Erigeron canadensis* L. з огляду на інтенсивне поширення у різних регіонах світу [3-5]. *E. canadensis* відзначають як один із найпоширеніших адвентивних видів рослин в Європі [6] та у міських центрах світу згідно репозиторію Global Urban Biological Invasions Compendium (GUBIC) [7]. Злинка канадську вважають одним із домінантних видів у піонерній та рудеральній рослинності в Україні [8] та як вид-трансформер у рудеральних ценозах [9]. При формуванні рослинних угруповань у процесі відновлювальних сукцесій спостерігали зміну типу стратегій зі збільшенням частки конкурентоспроможних інвазійних видів, у тому числі *E. canadensis* [10]. Цей вид рослин поширений в екотопах лісового господарства [11], біосферних заповідниках України [12] та антропогенно трансформованих територіях після розроблення родовища корисних копалин [13]. Злинка канадська є одним із найпоширеніших інвазійних видів у процесах синантропізації рослинного покриву України внаслідок мілітарних порушень різного типу: лісові вирубки [14], фортифікаційні споруди [15], території колишнього Каховського водосховища [16].

Як відомо, інтенсивне поширення інвазійних рослин обумовлено сукупністю функціональних ознак, серед яких відзначають репродуктивну ефективність, що забезпечує високу насіннєву продуктивність і створює у ґрунті довговічний банк насіння, здатного до проростання упродовж багатьох років [17]. Саме така висока насіннєва продуктивність характерна для *E. canadensis*, оскільки одна рослина може продукувати до 200 000 насінин із летючкою, які легко розсіюються вітром на великій відстані [5]. Важливою стадією формування життєздатного насіння є фаза цвітіння. *E. canadensis* має розгалужене, верхівкове, волотеподібне суцвіття, що складається з дрібних численних кошиків, у яких крайові квітки — маточкові, вузькоязичкові, білуваті, а серединні — двостатеві, трубчасті, жовті [5]. Для квіток цього виду переважає самозапилення із можливою участю універсальних комах-запилювачів [18]. За відношенням до світла злинка канадську відносять до геліофільних рослин із високим значенням показника світлового фактору 7,8 згідно фітоіндикаційної шкали за

типом Елленберга [19]. Оскільки геліофіти пристосовані до існування при повному сонячному освітленні у відкритих екосистемах, висока інтенсивність світла може спричиняти пошкодження важливих біологічних структур від УФ випромінювання. Тому геліофіти як одну із життєвих стратегій використовують механізм фотозахисту [20]. Такий механізм, як правило, реалізується завдяки локалізації у поверхневих рослинних тканинах УФ-поглинальних спеціалізованих метаболітів, які виконують роль УФ-фільтра та захищають від шкідливого впливу випромінювання цього спектрального діапазону [21]. Серед таких метаболітів відомі фенольні сполуки, спектральні властивості яких забезпечують фотопротекторну функцію [22]. Разом із тим, фотопротекторна роль фенольних сполук у квітках *E. canadensis* на стадії цвітіння недосліджена. Найбільш адекватним методом дослідження такої ролі, на нашу думку, є спектроскопія відбиття, що дозволяє моделювати процес взаємодії сонячного випромінювання залежно від довжини хвилі зі світлопоглинальними сполуками, які локалізовані у поверхневих тканинах квіток [23].

У контексті використання ресурсного потенціалу інвазійних рослин для злинки канадської слід відзначити декілька напрямів. Так, при розкладанні біомаси *E. canadensis* у результаті метаногенезу отримують біогаз [24]. Висока толерантність до несприятливих умов середовища дозволила рекомендувати цей рослинний об'єкт для фіторе mediaції територій, забруднених металами [25, 26]. З використанням екстракту злинки канадської здійснюють синтез Cu-вмісних наночастинок для екологічного та біомедичного застосування [27]. Траву *E. canadensis* використовують як лікарську рослинну сировину (*Herba Erigeronis canadensis*) [28]. Наявність комплексу біологічно активних речовин обумовлює антидіарейні, кровоспинні, протизапальні, протигрибкові, протимікробні, антигельмінтні, діуретичні, гемостатичні, болетамувальні, жарознижувальні, антиоксидантні властивості препаратів злинки канадської [28, 29]. Виявлено протикашльовий ефект і властивість модулятора клітинної імунної відповіді для поліфенольного полісахаридно-білкового комплексу, який виділено із квіток *E. canadensis* [30, 31].

Разом із тим, дотепер не досліджені хелатувальні властивості флавоноїдів як одного з основних біологічно активних компонентів злинок канадської для створення нових біогібридних матеріалів.

Відповідно до сучасних вимог для удосконалення ідентифікації сировини злинок канадської доцільно використовувати інструментальні методи [32]. Таким вимогам задовольняє твердофазна спектрофотометрія у видимому діапазоні, яка поєднує визначення відбивальних характеристик та

фізичних параметрів кольору пігментованих тканин квіток [23]. Оскільки траву *E. canadensis* заготовляють під час цвітіння рослин, представляло інтерес дослідити спектральні характеристики квіток для з'ясування можливості використання цього неруйнівного методу для стандартизації рослинної сировини.

Мета роботи – визначити спектральні характеристики квіток злинок канадської для підтвердження фотопротекторного ефекту флавоноїдів та ідентифікації сировини.

Об'єкти та методи дослідження

За об'єкт дослідження обрано злинку канадську *E. canadensis* (*Conyza canadensis* (L.) Cronquist). Оскільки злинка належить до групи світлолюбних рослин, відбір квіток (крайові та серединні) проводили на стадії цвітіння у серпні 2024 р. на відкритій території лука біля річки Мокра Сура (Новоолександрівка, Дніпровський район, Дніпропетровська область) з урахуванням, що найкращий розвиток геліофітів спостерігається за умов повного освітлення.

Екстракцію квіток ізопропанолом та хемосорбцію сполук із екстракту на поверхні оксиду алюмінію проводили за рекомендаціями роботи [33].

Аналогічні умови вимірювання відбивальних і колориметричних параметрів квіток та іммобілізованого препарату (адсорбату) створювали за рахунок користування стандартним тримачем твердих зразків за умови повного покриття поверхні (діаметр 2 см).

Спектри відбиття отримували в діапазоні 350–800 нм на спектрофотометрі Specord M40 (Німеччина), додатково обладнаному приставкою з фотометричною кулею і касетою «Data Handling I» для математичної обробки результатів вимірювання, що дозволило

проводити диференціювання і згладжування спектральних кривих із виключенням випадкових шумових піків [33]. Корекцію 100%-ої лінії проводили за стандартом MgO, оптичної нульової точки – за стандартом чорного порожнистого тіла. Інтенсивність спектрів відбиття наводили в одиницях абсорбції.

Для колориметричних вимірювань використовували спектрофотометр Specord M 40 з іншою касетою для математичної обробки «Color Measurement». Координати кольору (X , Y , Z) та координати кольоровості (x , y) визначали в системі CIE XYZ. Домінуюльну довжину хвилі λ_d та умовну чистоту кольорового тону P_e встановлювали графічним способом за координатами зразків у кольоровому просторі [33]. У колориметричній системі CIE $L^*a^*b^*$ визначали інтегральний коефіцієнт яскравості L^* та колориметричні коефіцієнти a^* (співвідношення зеленого та червоного складників кольору) і b^* (співвідношення синього та жовтого складників кольору).

Похибка вимірювань спектральних параметрів не перевищувала 5 %. Статистичну обробку експериментальних даних проводили з 5 % рівнем значущості.

Результати та обговорення

Відбивальна здатність квіток охарактеризована наявністю декількох максимумів, обумовлених сполуками із різними хромофорними системами (рис. 1). Інтенсивний максимум при 360 ($\lambda_{1к}$) і перегин при 380 ($\lambda_{2к}$) нм віднесено до УФ-поглинальних флавоноїдів, серед яких за даними [34] у суцвіттях *E. canadensis* переважають похідні кемпферолу. Інші максимуми у спектрі пов'язані із такими біохромами: каротиноїди і

смуга Соре хлорофілів – 480 нм ($\lambda_{3к}$), продукти катаболізму хлорофілів – 580 ($\lambda_{4к}$) і 620 нм ($\lambda_{5к}$), Q-смуга хлорофілів – 675 нм ($\lambda_{6к}$) [35].

Для порівняльної характеристики смуг використано співвідношення оптичної густини найінтенсивнішого короткохвильового максимуму $A_{1к}$ (1,06) та оптичної густини інших максимумів $A_{2к}$ (0,98), $A_{3к}$ (0,52), $A_{4к}$ (0,28), $A_{5к}$ (0,29), $A_{6к}$ (0,42).

Аналізуючи розраховані величини співвідношень, слід зазначити, що відносно максимуму $\lambda_{1к}$ тільки максимум $\lambda_{2к}$ мав порівняну інтенсивність, тоді як для інших максимумів цей показник був нижчим на 51 – 74 % ($A_{2к}/A_{1к} = 0,92$; $A_{3к}/A_{1к} = 0,49$; $A_{4к}/A_{1к} = 0,26$; $A_{5к}/A_{1к} = 0,27$; $A_{6к}/A_{1к} = 0,40$).

Для збільшення ступеня розподілення виявлених максимумів проведено диференціювання спектральної кривої відбиття квіток. Перша похідна спектру представлена шістьма смугами, кожна із яких складалась із відповідних максимуму і

мінімуму (рис. 1). Положення цих екстремумів на спектральній кривій наведено у табл. 1.

Підвищена інтенсивність максимумів $\lambda_{1к}$ і $\lambda_{2к}$ у спектрах відбиття підтвердила фотопротекторний ефект флавоноїдів, ідентифікованих у суцвіттях *E. canadensis* [34]. Функціонування цих сполук як світлофільтрів для поглинання фотонів УФ-радіації [22] пов'язано із визначальним фактором ступеню фотозахисту, який обумовлено наявністю двох смуг із високою поглинальною здатністю в УФ-А (315–400 нм) та УФ-В (280–315 нм) діапазонах [36].

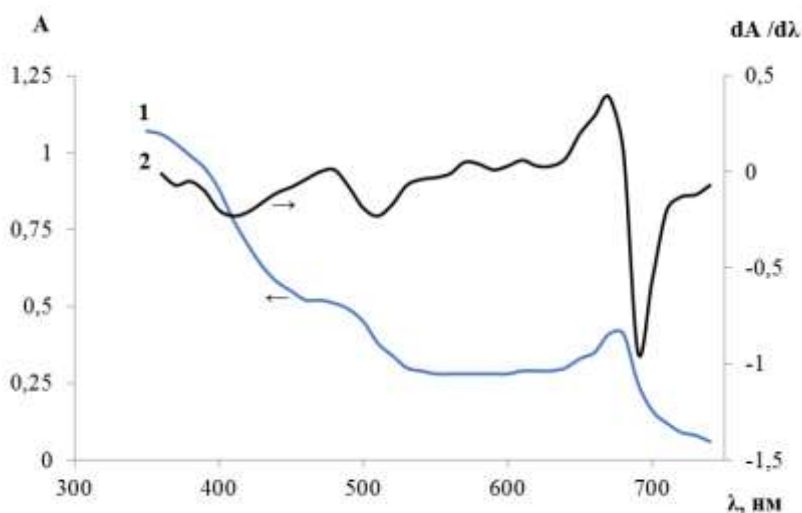


Рис. 1 – Спектр відбиття (1) і перша похідна спектру (2) квіток *E. canadensis*

Fig. 1 – Reflectance spectrum (1) and first derivative of the spectrum (2) of *E. canadensis* flowers

Таблиця 1

Характеристика смуг першої похідної спектру відбиття квіток *E. canadensis*

Table 1

Characteristics of the bands of the first derivative of the reflectance spectrum of *E. canadensis* flowers

Смуга	$\lambda_{\text{макс}}, \text{нм}$	$\lambda_{\text{мін}}, \text{нм}$
I	358	372
II	375	415
III	478	511
IV	580	598
V	612	626
VI	664	692

У результаті перетворення спектрального розподілу інтенсивності відбиття залежно від довжини хвилі отримано відповідні колориметричні параметри квіток (табл. 2).

Наявність у спектрі відбиття максимумів $\lambda_{2к}$, $\lambda_{3к}$ обумовила стимул із домінуюль-

ною довжиною хвилі квіток у діапазоні жовтого кольору (табл. 2). Значення величини умовної чистоти кольорового тону є результатом суперпозиції декількох стимулів різних біохромів (флавоноїди, каротиноїди, хлорофіли) згідно фізичної закономірності

Таблиця 2
Колориметричні характеристики квіток *E. canadensis* і адсорбату з екстракту квіток на оксиді алюмінію

Table 1
Colorimetric characteristics of *E. canadensis* flowers and flower extract adsorbate on aluminum oxide

Колориметричний параметр	Квітки	Адсорбат із екстракту квіток на Al ₂ O ₃
λ_d , нм	578,2	578,7
P_e , %	33,57	18,27
L^*	76,64	103,04
a^*	-12,15	-15,11
b^*	-28,89	-59,67

складання кольорів [37]. Встановлені значення коефіцієнтів a^* і b^* визначили координати квіток у кольоровому просторі рівноконтрастної колориметричної системи [37].

Окрім визначення *in vivo* із використанням твердофазної спектрофотометрії, флавоноїди можуть бути ідентифіковані завдяки хелатувальним властивостям шляхом хемосорбції із рослинного екстракту на біосумісному оксиді алюмінію із наступним визначенням спектральних характеристик продукту взаємодії (адсорбату) [33]. Для флавоноїдів, ідентифікованих у суцвіттях *E. canadensis* [34], хелатувальна властивість пов'язана із наявністю сайтів зв'язування металів у структурі цих сполук. У результаті сорбційної взаємодії флавоноїдів із Al₂O₃ отримано адсорбат жовтого кольору. Порівняно

із квітками (рис. 1) у спектрі відбиття адсорбату зберігалась наявність максимумів 365 (λ_{1a}), 396 (λ_{2a}) нм (рис. 2), що підтвердило адсорбцію флавоноїдів на поверхні сорбенту. Відсутність у спектрі адсорбату (рис. 2) максимумів, таких як λ_{3k} (480 нм), λ_{4k} (580 нм), 620 нм (λ_{5k}), і 675 нм (λ_{6k}) у спектрі відбиття квіток (рис. 1), свідчило, що адсорбція каротиноїдів і хлорофілів не відбувалась. Батохромне зміщення максимуму λ_{1a} на 5 нм і максимуму λ_{2a} на 16 нм у спектрі адсорбату порівняно із максимумом λ_{1k} і λ_{2k} у спектрі квіток підтвердило, що сорбційна взаємодія флавоноїдів з поверхнею оксиду алюмінію з екстракту квіток відбувалась шляхом хемосорбції із неасоційованими поверхневими групами $\equiv\text{AlOH}$ сорбенту [33]. Інтенсивність максимуму λ_{2a} перевищувала інтенсивність

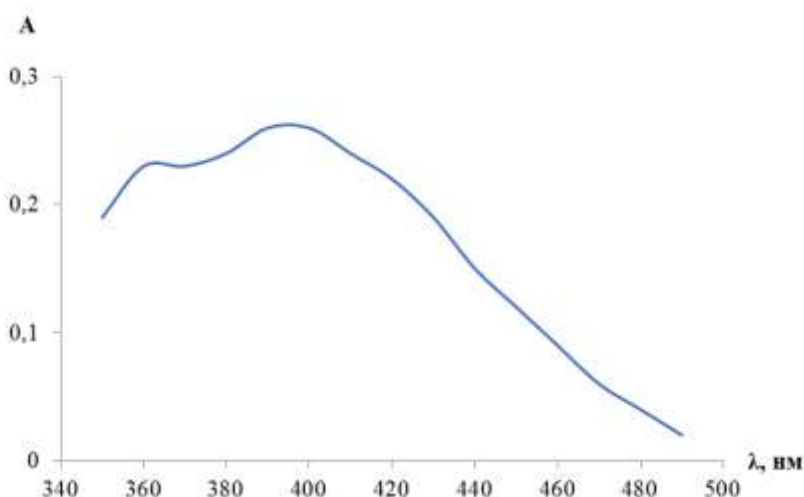


Рис. 2 – Спектр відбиття адсорбату з екстракту квіток *E. canadensis* на оксиді алюмінію
Fig. 2 – Reflectance spectrum of adsorbate from *E. canadensis* flower extract on aluminum oxide

максимуму λ_{1a} у спектрі адсорбату ($A_{2a}/A_{1a} - 1,13$) на відміну від аналогічного показника у спектрі відбиття квіток.

Додаткові характеристики пігментованого адсорбату отримано у результаті розрахунку колориметричних параметрів (табл. 2). Порівняно із кольоровим стимулом квіток відсутність каротиноїдів і хлорофілів у складі адсорбованих пігментів позначилось на підвищенні домінувальної довжини хвилі іммобілізованого препарату на 0,5 нм у діапазоні жовтого кольору. Тенденція зменшення від'ємних значень також відзначена для колориметричних коефіцієнтів a^* і b^* (табл. 2).

Аналізуючи отримані результати, слід зазначити, що при моделюванні залежно від довжини хвилі взаємодії сонячного випромінювання зі сполуками, які локалізовані у поверхневих тканинах квіток *E. canadensis*, встановлена їхня підвищена світлопоглинальна здатність в УФ-А діапазоні. Така здатність пов'язана із підвищеним накопиченням УФ-поглинальних флавоноїдів у поверхневих тканинах квіток. Відповідно до цифрової бази даних спектрів поглинання флавоноїдів [36] спектральні параметри флавоноїдів, які ідентифіковані у суцвіттях злинок канадської [34], підтверджують їхню значну протекторну здатність відносно УФ-А радіації. Фотозахист генеративних органів на стадії цвітіння забезпечує високу насіннєву продуктивність як одну із характерних інвазійних стратегій *E. canadensis*. Така відмінність відбивальних характеристик квіток цього інвазійного виду, як і встановлена нами раніше для *Ambrosia artemisiifolia* L. [39] може слугувати маркерною ознакою рослин-геліофітів на додаток до високих значень показника світлового фактора у фітоіндикаційній шкалі за типом Елленберга [19]. Слід зазначити, що використані спектральні методи розширюють арсенал підходів для ідентифікації інвазійних рослин на стадії цвітіння [40].

Висновки

Визначено відбивальні та колориметричні характеристики квіток для з'ясування світлопоглинальної здатності *E. canadensis* як інвазивного виду-геліофіту на стадії цвітіння.

Визначальною особливістю спектрів відбиття квіток є підвищення інтенсивності максимуму УФ-поглинальних флавоноїдів порівняно із каротиноїдами та хлорофілами,

Підвищена світлопоглинальна здатність в УФ-А діапазоні раніше нами також встановлена для квіток ентомофільного інвазійного виду *Erigeron annuus* (L.) Pers., для якого локалізовані у поверхневих тканинах флавоноїди виконують як роль світлофільтра шляхом поглинання фотонів УФ-радіації, так і атрактивну функцію у процесі запилення, оскільки тенденція підвищеного накопичення УФ-поглинальних флавоноїдів відповідає більш ефективному сприйняттю випромінювання максимально чутливого УФ-рецептору запилювачів [23]. Таку тенденцію слід розглядати як адаптивне підсилення репродуктивної системи інвазійних видів [41].

Окрім світлопоглинальної здатності, завдяки своїй поліфункціональності, фенольні метаболіти залучені в інших адаптивних процесах рослин у несприятливих умовах середовища як антиоксиданти та ендогенні хелатори [42]. Підвищена толерантність злинок канадської до високого рівня металів дала підстави рекомендувати цей інвазійний вид для технологій фіторе mediaції [25, 26].

Інший аспект отриманих результатів пов'язано із сучасним напрямом використання ресурсного потенціалу інвазійних рослин для отримання біологічно активних речовин [2]. Отримані результати підтвердили перспективність використання спектроскопії відбиття для подальшої розробки методичних підходів стандартизації трави злинок канадської як лікарської сировини на додаток до результатів дослідження фітохімічного профілю флавоноїдів [34, 43, 44]. Встановлена здатність до хемосорбції флавоноїдів з екстракту квіток *E. canadensis* на біосумісному сорбенті може бути використана для концентрування, стабілізації цих природних антиоксидантів, створення біогібридних матеріалів і композицій з твердим дисперсійним середовищем для покращення біофармацевтичних характеристик [45].

які локалізовані у поверхневих тканинах. Диференціювання спектральної кривої відбиття квіток виявилось ефективним способом збільшення ступеня розподілення виявлених максимумів. Досліджені квітки також охарактеризовано специфічною сукупністю колориметричних параметрів. Підвищена локалізація флавоноїдів, що поглинають

ультрафіолет, у поверхневих тканинах квіток обумовлює збільшення фотопротекторної здатності як адаптивне підсилення репродуктивної системи інвазійного виду-геліофіту.

Флавоноїди як біологічно активний компонент ідентифіковані завдяки хелатувальним властивостям шляхом хемосорбції із рослинного екстракту на біосумісному

оксиді алюмінію та наступного визначення спектральних характеристик продукту взаємодії.

Результати можуть бути застосовані для ідентифікації сировини злинки канадської та при використанні ресурсного потенціалу цих рослин для отримання біологічно активних препаратів.

Конфлікт інтересів

Автор повідомляє про відсутність конфлікту інтересів. Крім того, автор повністю дотримувався етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Dai Z. C., Wan L. Y., Qi S. S., Rutherford S., Ren G. Q., Wan J. S., Du D. L. Synergy among hypotheses in the invasion process of alien plants: a road map within a timeline. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 2020. Vol. 47. 125575. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2020.125575>
2. Lorenzo P., Morais M. C. Strategies for the management of aggressive invasive plant species. *Plants*. 2023. Vol. 12. N 13. 2482. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12132482>
3. Kowarik I. Historical evidence for context-dependent assessment of *Erigeron canadensis* invasions in an 18th-century European landscape. *NeoBiota*. 2023. Vol. 89. P. 1-15. DOI: <https://doi.org/10.3897/neobiota.89.111268>
4. Huang Z., Lin M., Chen G. Common agricultural weeds among alien invasive plants in China: Species lists and their practical managing strategies. *Heliyon*. 2025. Vol. 11. N 2. e41772. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41772>
5. Bajwa A. A., Sadia S., Ali H. H., Jabran K., Peerzada A. M., Chauhan B. S. Biology and management of two important *Conyza* weeds: a global review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. Vol. 23. P. 24694-24710. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7794-7>
6. Kalusová V., Čeplová N., Danihelka J., Večeřa M., Pyšek P., Albert A., Anastasiu P., Biurrun I., Boch S., Cottaz C., Essl F., Kuzemko A., Maslo S., Mifsud S., Protopopova V. V., Shevera M., Šírba C., Svenning J.-C., Welk E., Axmanová I. Alien plants of Europe: an overview of national and regional inventories. *Preslia*. 2024. Vol. 96. N 2. P. 149-182. DOI: <https://doi.org/10.23855/preslia.2024.149>
7. Li D., Potgieter L. J., Aronson M. F., Axmanová I., Baiser B., Carboni M., Celesti-Grapow L., Knapp S., Kühn I., Lacerda de Matos A. C., Lososová Z., Montaña-Centellas F. A., Pyšek P., Richardson D. M., Trotta L. B., Zenni R. D., Cilliers S. S., Clarkson B. D., Davis A. J. S., Dolan R. W., Dyderski M. K., Essl F., Gaoue O. G., Gui J., Geron C., Heringer G., Hui C., Khuroo A. A., Klotz S., Kotanen P. M., Kreft H., La Sorte F. A., Lembrechts J. J., Lenzner B., Lepczyk C. A., MacIvor S., Martínez-Garza C., Mori A. S., Nilon C., Pergl J., Siebert S. J., Tretyakova A. S., Tsang T. P. N., Uchida K., van Kleunen M., Vilà M., Wang H.-F., Weigelt P., Werner P., Williams N. S. G., Winter M., Cadotte M. W. GUBIC: The global urban biological invasions compendium for plants. *Ecological Solutions and Evidence*. 2025. Vol. 6. N 1. e70020. DOI: <https://doi.org/10.1002/2688-8319.70020>
8. Dubyna D. V., Dziuba T. P., Iemelianova S. M., Protopopova V. V., Shevera M. V. Alien species in the pioneer and ruderal vegetation of Ukraine. *Diversity*. 2022. Vol. 14. N 12. 1085. DOI: <https://doi.org/10.3390/d14121085>
9. Dubyna D. V., Iemelianova S. M., Dziuba T. P., Tymoshenko P. A., Protopopova V. V., Shevera M. V. Alien plant invasion in the ruderal vegetation of Ukraine. *Environmental & Socio-economic Studies*. 2021. Vol. 9. N 4. P. 57-70. DOI: <https://doi.org/10.2478/environ-2021-0025>
10. Клименко Т. К., Ісмагілова А. Є. Участь інвазійних видів рослин у формуванні рослинних угруповань у процесі відновлювальних сукцесій. *Екологічні науки*. 2021. № 6(39). С. 187-191. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.32>
11. Тарасевич О. В., Орлов О. О. Трав'яні адвентивні види рослин—загроза для лісовідновлення та лісових екосистем у Житомирському Поліссі. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 23(16). С. 81-92. DOI: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_16/81_Tar.pdf
12. Хоменко С. В., Бельмега І. В., Кірейцева Г. В., Хрутьба В. О. Роль фітоінвазії для природного біорізноманіття заповідних територій України. *Екологічні науки*. 2024. № 1(52). Т. 2. С. 94-99. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.2.18>
13. Коткова Т. М., Котюк Л. А., Яременко О. В., Стоцька С. В. Дослідження стану угруповань флори за впливу промислової розробки Сокиринського родовища цеолітів Хустського району Закарпатської області. *Український журнал природничих наук*. 2025. № 11. С. 280-293. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.30>

14. Зав'ялова Л. В., Протопопова В. В., Панченко С. М., Смаголь В. О., Коломійчук В. П., Кучер О. О., Шевера М. В. Синантропізація рослинного покриву України внаслідок воєнних дій. *Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій*—2022. Дніпро: Середняк Т. К., 2022. С. 31-52. DOI: <https://doi.org/10.23939/monograph2022>
15. Коломійчук В. П., Зимарова А. А. Особливості відновлення рослинності на військових фортифікаційних спорудах у Чорнобильському радіаційно-екологічному біосферному заповіднику. *Вісті Біосферного заповідника «Асканія-Нова»*. 2024. № 26. С. 142-150. DOI: <https://doi.org/10.53904/1682-2374/2024-26/10>
16. Олійник П.О. Моніторинг стану новоутворених біотопів та складу ґрунтів дна Каховського водосховища *Екологічні науки*. 2024. № 6(57). С. 142-148. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.21>
17. Gioria M., Hulme P. E., Richardson D. M., Pyšek P. Why are invasive plants successful? *Annual Review of Plant Biology*. 2023. Vol. 74. P. 635-670. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-070522-071021>
18. Szigeti V., Fenesi A., Botta-Dukát Z., Kuhlmann M., Potts S. G., Roberts S., Soltész Z., Török E., Kovács-Hostyánszki A. Trait-based effects of plant invasion on floral resources, hoverflies and bees. *Insect Conservation and Diversity*. 2023. Vol. 16. N 4. P. 483-496. DOI: <https://doi.org/10.1111/icad.12640>
19. Tichý L., Axmanová I., Dengler J., Guarino R., Jansen F., Midolo G., ets. Ellenberg-type indicator values for European vascular plant species. *Journal of Vegetation Science*. 2023. Vol. 34. N 1. e13168. DOI: <https://doi.org/10.1111/jvs.13168>
20. Bartelheimer M., Poschlod P. Functional characterizations of Ellenberg indicator values—a review on ecophysiological determinants. *Functional Ecology*. 2016. Vol. 30. N 4. P. 506-516. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12531>
21. Humbal A., Pathak B. Influence of exogenous elicitors on the production of secondary metabolite in plants: A review (“VSI: secondary metabolites”). *Plant Stress*. 2023. Vol. 8. 100166. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100166>
22. Ferreyra M. L. F., Serra P., Casati P. Recent advances on the roles of flavonoids as plant protective molecules after UV and high light exposure. *Physiol. Plant*. 2021. Vol. 173. N 3. P. 736-749. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppl.13543>
23. Феденко В. С. Відбивальні характеристики квіток як критерій інвазивності *Erigeron annuus* (L.) Pers. *Екологія та ноосферологія*. 2024. Т. 35. № 1. С. 52-57. DOI: <https://doi.org/10.15421/032409>
24. Pei L., Song Y., Chen G., Mu L., Yan B., Zhou T. Enhancement of methane production from anaerobic digestion of *Erigeron canadensis* via O₂-nanobubble water supplementation. *Chemosphere*. 2024. Vol. 354. 141732. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141732>
25. Laptiev V., Giltrap M., Tian F., Ryzhenko N. Assessment of heavy metals (Cr, Cu, Pb, and Zn) bioaccumulation and translocation by *Erigeron canadensis* L. in polluted soil. *Pollutants*. 2024. Vol. 4. N 3. P. 434-451. DOI: <https://doi.org/10.3390/pollutants4030029>
26. Gan C., Liu Z., Pang B., Zuo D., Hou Y., Zhou L., Yu J., Chen L., Wang H., Gu L., Du X., Zhu B., Yi Y. Integrative physiological and transcriptome analyses provide insights into the cadmium (Cd) tolerance of a Cd accumulator: *Erigeron canadensis*. *BMC genomics*. 2022. Vol. 23. N 1. 778. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12864-022-09022-5>
27. Aytaç E. C., Basılı T., Durmaz A., Aydın B., Seyfeli R. C., Kahyaoğlu İ. M., Karakuş S. Zero-waste production of copper nanoparticles and activated carbon from *Erigeron canadensis* L.: A sustainable approach for environmental and health applications. *ChemistrySelect*. 2025. Vol. 10. N 7. e202405073. DOI: <https://doi.org/10.1002/slct.202405073>
28. Руденко В.П., Сербін А.Г. Злінка. Фармацевтична енциклопедія / Голова ред. ради та автор передмови В. П. Черних. – 3-тє вид., переробл. і доповн. – К.: МОПІОН”, 2016. С. 666 – 667. URL: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/1601/zlinka>
29. Barhoumi L. M., Shakya A. K., Al-Fawares O. L., Al-Jaber H. I. *Conyza canadensis* from Jordan: Phytochemical profiling, antioxidant, and antimicrobial activity evaluation. *Molecules*. 2024. Vol. 29. N 10. 2403. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules29102403>
30. Šutovská M., Kocmálová M., Mažerik J., Pawlaczyk-Graja I., Gancarz R., Capek P. Chemical characteristics and significant antitussive effect of the *Erigeron canadensis* polyphenolic polysaccharide-protein complex. *Journal of Ethnopharmacology*. 2022. Vol. 284. 114754. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114754>
31. Paulovičová E., Paulovičová L., Pawlaczyk-Graja I., Gancarz R., Kopáčová M., Capek P. Effectivity of polyphenolic polysaccharide-proteins isolated from medicinal plants as potential cellular immune response modulators. *Biologia*. 2022. Vol. 77. N 12. P. 3581-3593. <https://doi.org/10.1007/s11756-022-01200-w>
32. Глущенко Л., Куценко Н. Проблеми ідентифікації лікарських рослин та лікарської рослинної сировини. *Journal of Native and Alien Plant Studies*. 2023. N 19. P. 38–51. DOI: <https://doi.org/10.37555/2707-3114.19.2023.296366>
33. Феденко В. С. Хемосорбція флавоноїдів золотушника канадського на оксиді алюмінію. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2022. Vol. 30. N. 3. P. 340-348. DOI: <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v30i3.262972>

34. Poljuha D., Sladonja B., Šola I., Šenica M., Uzelac M., Veberič R., Hudina M., Famuyide I. M., Eloff J. N., Mikulic-Petkovsek M. LC–DAD–MS phenolic characterisation of six invasive plant species in Croatia and determination of their antimicrobial and cytotoxic activity. *Plants*. 2022. Vol. 11. N 5. 596. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11050596>
35. Karg C. A., Taniguchi M., Lindsey J. S., Moser S. Phyllobilins–Bioactive natural products derived from chlorophyll–Plant origins, structures, absorption spectra, and biomedical properties. *Planta Medica*. 2023. Vol. 89. N 06. P. 637–662. DOI: <https://doi.org/10.1055/a-1955-4624>
36. Taniguchi M., LaRocca C. A., Bernat J. D., Lindsey J. S. Digital database of absorption spectra of diverse flavonoids enables structural comparisons and quantitative evaluations. *Journal of Natural Products*. 2023. Vol. 86. N 4. P. 1087–1119. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.2c00720>
37. Ohta N., Robertson A. *Colorimetry: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons., 2006. 352 p. URL: https://www.academia.edu/34154313/Colorimetry_Fundamentals_and_Applications
38. Cairone F., Carradori S., Locatelli M., Casadei M. A., Cesa S. Reflectance colorimetry: A mirror for food quality—A mini review. *European Food Research and Technology*. 2020. Vol. 246. N 2. P. 259–272. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03345-6>
39. Феденко В. Світлопоглинальна здатність квіток інвазійного виду *Ambrosia artemisiifolia* L. *Biota.Human. Technology*. 2025. №1. С. 28–38. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.1.25.2>
40. Paz-Kagan T., Silver M., Panov N., Karnieli A. Multispectral approach for identifying invasive plant species based on flowering phenology characteristics. *Remote Sensing*. 2019. Vol.11. N 8. 953. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11080953>
41. Barrett S. C., Colautti R. I., Eckert C. G. Plant reproductive systems and evolution during biological invasion. *Molecular Ecology*. 2008. Vol. 17. N 1. P. 373–383. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03503.x>
42. Landi M., Shemet S. A., Fedenko V. S. (Eds.). *Metal toxicity in higher plants*. N. Y.: Nova Science Publishers, 2020. 268 p. URL: <https://novapublishers.com/shop/metal-toxicity-in-higher-plants/>
43. Khan S. A., Hanafy A. A. E., Khan A., Anwar Y., Shah Z., Maher S. Phytochemical investigation of *Conyza canadensis* (L.). *Middle-East Journal of Scientific Research*. 2016. Vol. 24. N 4. P. 1104–1111. DOI: <https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2016.24.04.10369>
44. Barhoumi L. M., Shakya A. K., Al-Fawares O. L., Al-Jaber H. I. *Conyza canadensis* from Jordan: phytochemical profiling, antioxidant, and antimicrobial activity evaluation. *Molecules*, 2024. Vol. 29. N 10. P. 2403. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules29102403>
45. Colombo M., Michels L. R., Teixeira H. F., Koester L. S. Flavonoid delivery by solid dispersion: a systematic review. *Phytochemistry Reviews*. 2022. Vol. 21. P. 783–808. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11101-021-09763-3>

Стаття надійшла до редакції 21.04.2025

Стаття рекомендована до друку 28.05.2025

V. S. FEDENKO, PhD (Chemistry), Senior scientific researcher,
Senior scientific researcher of the Research Institute of Biology
e-mail: opticlub.fedenko@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4696-6981>
Oles Honchar Dnipro National University
Nauky Avenue, 72, Dnipro, 49045, Ukraine

FLOWERS SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE INVASIVE HELIOPHYTE SPECIES *ERIGERON CANADENSIS* L.

Purpose. Determination of spectral characteristics of *Erigeron canadensis* L. flowers to confirm the photoprotective effect of flavonoids and identify the raw material.

Methods. The reflectance spectra were obtained in the range of 350–800 nm. The colorimetric parameters were determined in the CIE XYZ and CIE L*a*b* systems. For additional identification of flavonoids, the flowers were extracted with isopropanol and chemisorption of compounds from the extract on the surface of biocompatible aluminum oxide was carried out, followed by determination of spectral characteristics.

Results. The selection of flowers was carried out at the flowering stage in an open meadow area near the Mokra Sura River (Novooleksandrivka, Dnipropetrovsk region), taking into account that the

best development of heliophytes is observed under conditions of full illumination. For the first time, the reflectance and colorimetric characteristics of flowers were determined to determine the light-absorbing ability of horseweed as an invasive heliophyte species at the flowering stage. A defining feature of the reflectance spectra of flowers is the increase in the intensity of the maximum of UV-absorbing flavonoids compared to carotenoids and chlorophylls, which are localized in surface tissues. Differentiation of the spectral reflection curve of flowers turned out to be an effective way to increase the degree of distribution of the detected maxima. The studied flowers were also characterized by a specific set of colorimetric parameters. Flavonoids as a biologically active component were identified due to their chelating properties by chemisorption from a plant extract on biocompatible aluminum oxide and subsequent determination of the reflectance and colorimetric characteristics of the interaction product.

Conclusions. Increased localization of ultraviolet-absorbing flavonoids in the surface tissues of flowers determines the increase in photoprotective ability as an adaptive enhancement of the reproductive system of the invasive heliophyte species. The results can be used to confirm the functional signs of invasiveness of alien plants, as well as to identify the raw material of horseweed and when using the resource potential of this species to obtain biologically active drugs.

KEYWORDS: *horseweed, UV-absorbing flavonoids, photoprotective effect, reflectance characteristics, colorimetric characteristics*

References

1. Dai, Z. C., Wan, L. Y., Qi, S. S., Rutherford, S., Ren, G. Q., Wan, J. S., & Du, D. L. (2020). Synergy among hypotheses in the invasion process of alien plants: a road map within a timeline. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 47, 125575. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2020.125575>
2. Lorenzo, P., & Morais, M. C. (2023). Strategies for the management of aggressive invasive plant species. *Plants*, 12(13), 2482. <https://doi.org/10.3390/plants12132482>
3. Kowarik, I. (2023). Historical evidence for context-dependent assessment of *Erigeron canadensis* invasions in an 18th-century European landscape. *NeoBiota*, 89, 1-15. <https://doi.org/10.3897/neobiota.89.111268>
4. Huang, Z., Lin, M., & Chen, G. (2025). Common agricultural weeds among alien invasive plants in China: Species lists and their practical managing strategies. *Heliyon*, 11(2), e41772. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41772>
5. Bajwa, A. A., Sadia, S., Ali, H. H., Jabran, K., Peerzada, A. M., & Chauhan, B. S. (2016). Biology and management of two important *Conyza* weeds: a global review. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 24694-24710. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7794-7>
6. Kalusová, V., Čeplová, N., Danihelka, J., Večeřa, M., Pyšek, P., Albert, A., Anastasiu, P., Biurrun, I., Boch, S., Cottaz, C., Essl, F., Kuzemko, A., Maslo, S., Mifsud, S., Protopopova, V. V., Shevera, M., Širbu, C., Svenning, J.-C., Welk, E., & Axmanová, I. (2024). Alien plants of Europe: an overview of national and regional inventories. *Preslia*, 96(2), 149-182. <https://doi.org/10.23855/preslia.2024.149>
7. Li, D., Potgieter, L. J., Aronson, M. F., Axmanová, I., Baiser, B., Carboni, M., Celesti-Gradow, L., Knapp, S., Kühn, I., Lacerda de Matos, A. C., Lososová, Z., Montañó-Centellas, F. A., Pyšek, P., Richardson, D. M., Trotta, L. B., Zenni, R. D., Cilliers, S. S., Clarkson, B. D., Davis, A. J. S., Dolan, R. W., Dyderski, M. K., Essl, F., Gaoue, O. G., Gui, J., Geron, C., Heringer, G., Hui, C., Khuroo, A. A., Klotz, S., Kotanen, P. M., Kreft, H., La Sorte, F. A., Lembrechts, J. J., Lenzner, B., Lepczyk, C. A., MacIvor, S., Martínez-Garza, C., Mori, A. S., Nilon, C., Pergl, J., Siebert, S. J., Tretyakova, A. S., Tsang, T. P. N., Uchida, K., van Kleunen, M., Vilà, M., Wang, H.-F., Weigelt, P., Werner, P., Williams, N. S. G., Winter, M. & Cadotte, M. W. (2025). GUBIC: The global urban biological invasions compendium for plants. *Ecological Solutions and Evidence*, 6(1), e70020. <https://doi.org/10.1002/2688-8319.70020>
8. Dubyna, D. V., Dziuba, T. P., Iemelianova, S. M., Protopopova, V. V., & Shevera, M. V. (2022). Alien species in the pioneer and ruderal vegetation of Ukraine. *Diversity*, 14(12), 1085. <https://doi.org/10.3390/d14121085>
9. Dubyna, D. V., Iemelianova, S. M., Dziuba, T. P., Tymoshenko, P. A., Protopopova, V. V., & Shevera, M. V. (2021). Alien plant invasion in the ruderal vegetation of Ukraine. *Environmental & Socio-economic Studies*, 9(4), 57-70. <https://doi.org/10.2478/environ-2021-0025>
10. Klymenko, T., & Ismagilova, A. (2021). Participation of invasive plant species in the formation of plant communities during regenerative successions. *Ecological Sciences*, (6), 39, 187-191. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.32> (in Ukrainian)
11. Tarasevich, O. V., & Orlov, O. O. (2013). Herbaceous alien plant species – threat for forest renew and forest ecosystems in Zhytomyr Polissya. *Scientific bulletin of UNFU*, 23(16), 81-92. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_16/81_Tar.pdf (in Ukrainian)
12. Khomenko, S., Belmega, I., Kireitseva, H., & Khrutba, V. (2024). The role of phyt invasion for the natural biodiversity of protected areas in Ukraine. *Ecological Sciences*, 1(2), 94-99. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.2.18> (in Ukrainian)

13. Kotkova, T. M., Kotyuk, L. A., Yaremenko, O. V., & Stotska, S. V. (2025). Study of flora communities under the impact of industrial mining at the Sokyrnytsia zeolite deposit in the Khust district of the Zakarpattia region. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*, (11), 280-293. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.30> (in Ukrainian)
14. Zavialova, L. V., Protopopova, V. V., Panchenko, S. M., Smagol, V. O., Kolomiichuk, V. P., Kucher, O. O., & Shevera, M. V. (2022). The synantropization of vegetation cover of Ukraine as impact of military actions. In: *Overcoming ecological risks and threats to the environment in emergency situations–2022*. Serednyak T.K. Dnipro, 31-52. <https://doi.org/10.23939/monograph2022> (in Ukrainian)
15. Kolomiichuk, V. P., & Zymarioieva, A. A. (2024). Features of vegetation restoration on military fortifications in the Chornobyl radiation and ecological biosphere reserve. *Biosphere Reserve "Askania Nova" Reports*, (26), 142-150. <https://doi.org/10.53904/1682-2374/2024-26/10> (in Ukrainian)
16. Oliynyk, P. (2024). Monitoring of the state of newly established biotopes and the composition of soils at the bottom of the Kakhovka reservoir. *Ecological Sciences*, (6), 142-148. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.21> (in Ukrainian)
17. Gioria, M., Hulme, P. E., Richardson, D. M., & Pyšek, P. (2023). Why are invasive plants successful? *Annual Review of Plant Biology*, 74, 635-670. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-070522-071021>
18. Szigeti, V., Fenesi, A., Botta-Dukát, Z., Kuhlmann, M., Potts, S. G., Roberts, S., Soltész, Z., Török, E., & Kovács-Hostyánszki, A. (2023). Trait-based effects of plant invasion on floral resources, hoverflies and bees. *Insect Conservation and Diversity*, 16(4), 483-496. <https://doi.org/10.1111/icad.12640>
19. Tichý, L., Axmanová, I., Dengler, J., Guarino, R., Jansen, F., Midolo, G.,... & Chytrý, M. (2023). Ellenberg-type indicator values for European vascular plant species. *Journal of Vegetation Science*, 34(1), e13168. <https://doi.org/10.1111/jvs.13168>
20. Bartelheimer, M., & Poschlod, P. (2016). Functional characterizations of Ellenberg indicator values—a review on ecophysiological determinants. *Functional Ecology*, 30(4), 506-516. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12531>
21. Humbal, A., & Pathak, B. (2023). Influence of exogenous elicitors on the production of secondary metabolite in plants: A review (“VSI: secondary metabolites”). *Plant Stress*, 8, 100166. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100166>
22. Ferreyra, M. L. F., Serra, P., & Casati, P. (2021). Recent advances on the roles of flavonoids as plant protective molecules after UV and high light exposure. *Physiol. Plant.*, 173(3), 736-749. <https://doi.org/10.1111/ppl.13543>
23. Fedenko, V. S. (2024). Reflectance characteristics of flowers as a criterion for invasiveness of *Erigeron annuus* (L.) Pers. *Ecology and Noospherology*, 35(1), 52-57. <https://doi.org/10.15421/032409> (in Ukrainian)
24. Pei, L., Song, Y., Chen, G., Mu, L., Yan, B., & Zhou, T. (2024). Enhancement of methane production from anaerobic digestion of *Erigeron canadensis* via O₂-nanobubble water supplementation. *Chemosphere*, 354, 141732. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141732>
25. Laptiev, V., Giltrap, M., Tian, F., & Ryzhenko, N. (2024). Assessment of heavy metals (Cr, Cu, Pb, and Zn) bioaccumulation and translocation by *Erigeron canadensis* L. in polluted soil. *Pollutants*, 4(3), 434-451. <https://doi.org/10.3390/pollutants4030029>
26. Gan, C., Liu, Z., Pang, B., Zuo, D., Hou, Y., Zhou, L., Yu, J., Chen, L., Wang, H., Gu, L., Du, X., Zhu, B., & Yi, Y. (2022). Integrative physiological and transcriptome analyses provide insights into the cadmium (Cd) tolerance of a Cd accumulator: *Erigeron canadensis*. *BMC genomics*, 23(1), 778. <https://doi.org/10.1186/s12864-022-09022-5>
27. Aytar, E. C., Basılı, T., Durmaz, A., Aydın, B., Seyfeli, R. C., Kahyaoglu, İ. M., & Karakuş, S. (2025). Zero-waste production of copper nanoparticles and activated carbon from *Erigeron canadensis* L.: A sustainable approach for environmental and health applications. *ChemistrySelect*, 10(7), e202405073. <https://doi.org/10.1002/slct.202405073>
28. Rudenko, V. P., & Serbin, A. G. (2016). [Fleabane In Pharmaceutical encyclopedia (3th ed.)]. MORION. Kyiv, 666–667. Retrieved from <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/1601/zlinka> (in Ukrainian)
29. Barhoumi, L. M., Shakya, A. K., Al-Fawares, O. L., & Al-Jaber, H. I. (2024). *Conyza canadensis* from Jordan: Phytochemical profiling, antioxidant, and antimicrobial activity evaluation. *Molecules*, 29(10), 2403. <https://doi.org/10.3390/molecules29102403>
30. Šutovská, M., Kocmálová, M., Mažerik, J., Pawlaczyk-Graja, I., Gancarz, R., & Capek, P. (2022). Chemical characteristics and significant antitussive effect of the *Erigeron canadensis* polyphenolic polysaccharide-protein complex. *Journal of Ethnopharmacology*, 284, 114754. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114754>
31. Paulovičová, E., Paulovičová, L., Pawlaczyk-Graja, I., Gancarz, R., Kopáčová, M., & Capek, P. (2022). Effectivity of polyphenolic polysaccharide-proteins isolated from medicinal plants as potential cellular immune response modulators. *Biologia*, 77(12), 3581-3593. <https://doi.org/10.1007/s11756-022-01200-w>
32. Hlushchenko, L. A., Kutsenko, N. I. (2023). Problems with identification of medicinal plants and medicinal plant raw materials. *J. Native Alien Plant Stud.*, 19, 38–52. <https://doi.org/10.37555/2707-3114.19.2023.293647> (in Ukrainian)

33. Fedenko, V. S. (2022). Chemisorption of flavonoids from canadian goldenrod on aluminum oxide. *Journal of Chemistry and Technologies*, 30(3), 340-348. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v30i3.262972> (in Ukrainian)
34. Poljuha, D., Sladonja, B., Šola, I., Šenica, M., Uzelac, M., Veberič, R., Hudina, M., Famuyide, I. M., Eloff, J.N., & Mikulic-Petkovsek, M. (2022). LC–DAD–MS phenolic characterisation of six invasive plant species in Croatia and determination of their antimicrobial and cytotoxic activity. *Plants*, 11(5), 596. <https://doi.org/10.3390/plants11050596>
35. Karg, C. A., Taniguchi, M., Lindsey, J. S., & Moser, S. (2023). Phyllobilins–bioactive natural products derived from chlorophyll–Plant origins, structures, absorption spectra, and biomedical properties. *Planta Medica*, 89(06), 637-662. <https://doi.org/10.1055/a-1955-4624>
36. Taniguchi, M., LaRocca, C. A., Bernat, J. D., & Lindsey, J. S. (2023). Digital database of absorption spectra of diverse flavonoids enables structural comparisons and quantitative evaluations. *Journal of Natural Products*, 86(4), 1087-1119. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.2c00720>
37. Ohta, N., & Robertson, A. (2006). *Colorimetry: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons, 352 p. Retrieved from https://www.academia.edu/34154313/Colorimetry_Fundamentals_and_Applications
38. Cairone, F., Carradori, S., Locatelli, M., Casadei, M. A., & Cesa, S. (2020). Reflectance colorimetry: A mirror for food quality—A mini review. *European Food Research and Technology*, 246(2), 259-272. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03345-6>
39. Fedenko, V. (2025). Light absorption capacity of flowers of the invasive species *Ambrosia artemisiifolia* L. *Biota. Human. Technology*, (1), 28-38. <https://doi.org/10.58407/bht.1.25.2> (in Ukrainian)
40. Paz-Kagan, T., Silver, M., Panov, N., & Karnieli, A. (2019). Multispectral approach for identifying invasive plant species based on flowering phenology characteristics. *Remote Sensing*, 11(8), 953. <https://doi.org/10.3390/rs11080953>
41. Barrett, S. C., Colautti, R. I., & Eckert, C. G. (2008). Plant reproductive systems and evolution during biological invasion. *Molecular Ecology*, 17(1), 373-383. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03503.x>
42. Landi, M., Shemet, S. A., & Fedenko, V. S. (Eds.). (2020). *Metal toxicity in higher plants*. Nova Science Publishers. Retrieved from <https://novapublishers.com/shop/metal-toxicity-in-higher-plants/>
43. Khan, S. A., Hanafy, A. A. E., Khan, A., Anwar, Y., Shah, Z., & Maher, S. (2016). Phytochemical investigation of *Conyza canadensis* (L.). *Middle-East Journal of Scientific Research*, 24(4), 1104-1111. <https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2016.24.04.10369>
44. Barhoumi, L. M., Shakya, A. K., Al-Fawares, O. L., & Al-Jaber, H. I. (2024). *Conyza canadensis* from Jordan: Phytochemical Profiling, Antioxidant, and Antimicrobial Activity Evaluation. *Molecules*, 29(10), 2403. <https://doi.org/10.3390/molecules29102403>
45. Colombo, M., Michels, L. R., Teixeira, H. F., & Koester, L. S. (2022). Flavonoid delivery by solid dispersion: a systematic review. *Phytochemistry Reviews*, 21, 783–808. <https://doi.org/10.1007/s11101-021-09763-3>

The article was received by the editors 21.04.2025

The article is recommended for printing 28.05.2025

ЕКОЛОГІЧНА ТА ПРИРОДООХОРОННА ОСВІТА

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-11>

УДК 911.3:30(477)

О. Р. ПЕРХАЧ, канд. географ. наук, доц.

доцент кафедри раціонального використання природних ресурсів і охорони природи

e-mail: oxana.perkhach@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5702-9048>

Львівський національний університет імені Івана Франка,

вул. Дорошенка, 41, м. Львів, 79007, Україна

АКТУАЛЬНІСТЬ ВИКЛАДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ “ЕКОЛОГІЧНІ ЗАГРОЗИ В НАЦІОНАЛЬНІЙ БЕЗПЕЦІ УКРАЇНИ” У ВИЩІЙ ШКОЛІ

Мета. Актуалізувати дисципліну “Екологічні загрози в національній безпеці України”, як необхідний навчальний освітній компонент сьогодення, скерований забезпечити необхідні теоретичні знання та вміння, які обов’язкові для формування у магістрів за спеціальністю 106 “Географія” системних знань про найголовніші екологічні загрози в Україні.

Методи. Системного аналізу та принцип взаємозв’язку.

Результати. Проаналізовано праці українських вчених, а також розглянуті Стандарти вищої освіти України, методичні рекомендації щодо розроблення стандартів вищої освіти, постанови КМ України та інші нормативні документи. Подано структуру навчальної дисципліни та головні теми лекцій, семінарського й практичних занять. Наведені загальні та фахові компетентності з допомогою яких забезпечується вивчення дисципліни. Схарактеризовано головні екологічні загрози в національній безпеці України та шляхи їхнього подолання. Виділено аспекти, які потрібно враховувати для досягнення успіху в процесі подолання наслідків російсько-української війни а саме: екосистемне відновлення; очищення забруднених ресурсів; глобальна співпраця; соціально-економічна реабілітація, екологічна безпека та національна безпека. Розкрито програмні результати навчання: застосовувати набуті теоретичні знання та практичні навички для дослідження природно- і суспільно-територіальних систем на різних рівнях просторової організації; брати участь у розробленні програм та стратегій міського та регіонального розвитку, плануванні територій різного ієрархічного рівня; оцінювати можливі ризики, виявляти типи загроз і їхні регіональні особливості функціонування, соціально-економічні та геоecологічні наслідки реалізації управлінських рішень у сфері природокористування, міського та регіонального розвитку, рекреації та туризму; планувати й виконувати теоретичні та прикладні дослідження, робити обґрунтовані висновки, аналізувати та презентувати результати досліджень.

Висновки. Навчальну дисципліну “Екологічні загрози в національній безпеці України” доцільно викладати для студентів зі спеціальності 106 “Географія” другого (магістерського) рівня вищої освіти. Теоретична і практична підготовка майбутніх фахівців створить безпечні умови життя і діяльності у середовищі проживання, її вивчення і практичне застосування у перспективі буде результатом майбутнього нашої держави.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: навчальна дисципліна, компетентності, екологічні загрози, національна безпека, екологічна безпека, забруднення довкілля.

Як цитувати: Перхач О. Р. Актуальність викладання навчальної дисципліни “Екологічні загрози в національній безпеці України” у вищій школі. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2025. Вип. 32. С. 146 - 154. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-11>

In cites: Perkhach, O. R. (2025). Relevance of teaching the course “Ecological threats in the national security of Ukraine” in higher school. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (32), 146 - 154. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-11> (in Ukrainian)

© Перхач О. Р., 2025



This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.

Україна знаходиться напередодні перетворень. В Україні навчальний процес часто відбувається під звуки сирен. Змінюються підходи до освіти і науки через російсько-українську війну, вимушену міграцію, а також євроінтеграцію та глобалізацію [1]. Стратегічними цілями у вищій освіті є: заклади вищої освіти, що забезпечують значні можливості для навчання і кар'єри; освітньо-наукова діяльність, що сприяє самореалізації всіх осіб, які дотичні до даного процесу; населення, держава й бізнес, які покладаються на наукову, освітню та інноваційну роботу закладів вищої освіти; привабливість академічної кар'єри науково-педагогічних працівників, що сприяє їхньому високому статусу у суспільстві; управління у вищій освіті, що ґрунтується на принципах автономії і відповідальності [1]. Остаточною метою вищої освіти є: середовища вищої освіти, які забезпечують максимальні шанси для самореалізації кожного громадянина, а Україна є державою високоякісної освіти та наукових досягнень світового рівня [1].

У “Методичних рекомендаціях щодо розроблення стандартів вищої освіти” (2025) вказано на роль освітніх компонентів в освітньо-професійних програмах, а також вимоги до освітніх програм. На підставі освітньої програми (ОП) за всіма спеціальностями, заклад вищої освіти розробляє навчальний план, що визначає: - перелік і обсяг навчальних предметів у кредитах Європейської Кредитно-Трансферної Системи (ЄКТС); - наступність вивчення дисциплін; - форми проведення навчальних занять і обсяг відведених годин; - графік навчального процесу; - види поточного та підсумкового контролю [2].

У Стандарті вищої освіти України: другий (магістерський) рівень, галузь знань 10 Природничі науки, спеціальність 106 “Географія” наводиться опис предметної області (об’єкт, мета навчання, теоретичний зміст предмету, методи та методики, обладнання та інструменти), вимоги до рівня освіченості осіб, обсяг кредитів ЄКТС, що необхідний для здобуття другого (магістерського) ступеня вищої освіти, компетентності випускника, нормативний зміст підготовки магістрів, що сформульований у термінах очікуваних результатів навчання, види атестації, а

також вимоги до створення навчальних програм [3]. Зараз вводиться в дію новий перелік галузей знань і спеціальностей, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої та фахової передвищої освіти. Згідно з новим переліком, спеціальність “Географія” буде мати назву “Географія та регіональні студії” [4]. Відповідно до Стандарту вищої освіти України є розроблена освітньо-професійна програма і навчальний план на географічному факультеті у Львівському національному університеті імені Івана Франка. Навчальна дисципліна “Екологічні загрози в національній безпеці України” впроваджена в освітній процес на географічному факультеті ЛНУ імені Івана Франка з 2022 року і є вибіркоким освітнім компонентом, де здійснюється підготовка студентів спеціальності “географія” другого (магістерського) рівня вищої освіти.

Метою є актуалізувати дисципліну “Екологічні загрози в національній безпеці України”, як необхідний навчальний освітній компонент сьогодення, оскільки він сформований забезпечити необхідні теоретичні знання та вміння, які обов’язкові для формування у магістрів за спеціальністю 106 “Географія” системних знань про найголовніші екологічні загрози в Україні.

Ставилися такі завдання: - проаналізувати праці відомих вчених географів та екологів з проблематики екологічної безпеки України; - розглянути Стандарти вищої освіти України, методичні рекомендації щодо розроблення стандартів вищої освіти, постанови КМ України та інші нормативні документи; - вивчити екологічні наслідки російського вторгнення в Україну, які є загрозами для національної безпеки; - проаналізувати процес вивчення навчальної дисципліни “Екологічні загрози в національній безпеці України”; - запропонувати комплекс заходів щодо нейтралізації екологічних загроз; - визначити важливі аспекти для досягнення успіху в процесі подолання наслідків російсько-української війни.

Використано *методи* системного аналізу та принцип взаємозв’язку. Також широко застосовується міждисциплінарний підхід, який використовує знання і методи з різних галузей науки. З його допомогою можна вивчати процеси, розв’язувати складні

завдання, проблеми, що у перспективі запобігають виникненню екологічних загроз. Дослідженням екологічних загроз займається низка українських вчених, зокрема, географів та екологів: Дронова О. Л. [5], Ліпкан В. А. [6], Орел С. М., Мальований М. С., Орел Д. С. [7], Хилько М. І. [8], Біланюк В. І., Іванов Є. А., Тиханович Є. Є. [9], Данилишин Б., Степаненко А., Ральчук О. [10], Качинський А. Б. [11], Крайнюков О. М. [12], Некос А. Н. [13] та ін.

У даний час головні екологічні загрози в безпеці України є наслідком російської військової агресії [14]. Військова агресія проти України завдала удару по довкіллю і тому підсилила його вразливість перед природними катастрофами і підняла на вищий рівень проблеми, що спричинені зміною клімату. Наслідки військових дій є важливими загрозами для екосистем і здоров'я людей, їхньої безпеки не тільки в Україні, а й на цілому європейському континенті. Тому наслідки війни, масштаби екологічної катастрофи оцінюють в Організації з безпеки і співробітництва в Європі (ОБСЄ). Метою проєкту ОБСЄ є оцінка масштабів екологічної шкоди і сприяння притягнення до кримінальної відповідальності осіб, діяльність яких завдала шкоди довкіллю України.

Загальна сума збитків, заподіяних довкіллю України внаслідок повномасштабної російської агресії на початок 2025 року, перевищує 65 млрд євро [15]. Збитки довкіллю внаслідок збройної агресії РФ станом на 21.02.2025 року (за три роки війни, від 24.02.2022 р.) становлять 3 538 237 692 636 грн [16]. На початок 2025 року зафіксовано понад 7500 випадків екологічних правопорушень. Ці правопорушення призвели до збитків обсягом 82 мільярди євро. До даної суми не входять пошкодження на Чорнобильському конфайнменті (зруйновано приблизно 15 м² даху саркофага, деформація зафіксована ще на 200 м² конструкції), зруйнування греблі Каховської ГЕС, забруднення річки Сейм, великий вилив нафти у Керченській протоці, що спричинений аварією російських танкерів “Волгонейфть-212” і “Волгонейфть-239”. Забруднено вибухонебезпечними речовинами майже 25 % від загальної території України. Під окупацією перебувають 557 шахт, які не мають належного догляду.

Десять національних парків, вісім природних заповідників і два біосферні заповідники перебувають під окупацією. Пошкоджено також 744 водогосподарські об'єкти, для функціонування яких треба 7,7 млрд євро [17]. Отже, війна в Україні призвела до масштабних екологічних загроз, які поширилися на весь Європейський континент, а їхні наслідки відчуватимуться ще тривалий час.

За цифрами наслідки від війни для природи і для нас є катастрофічними. *Земельні ресурси* втрачено у зоні бойових дій (величезні площі замінувано, зруйновано і забруднено вибуховими речовинами; системи укріплень, що порушують землі разом із материнською породою). Для їхнього відновлення потрібно буде до 100 років. *Лісові ресурси* - знищено 3,5 млн га, велика кількість деревини пошкоджена осколками. Для їхнього відновлення потрібно десятки років. А також втрачені *місцеві біоценози та природоохоронні території*, забруднені *води* і Каховська ГЕС, забруднене *повітря*, великі маси будівельного *сміття*.

Навчальна дисципліна “Екологічні загрози в національній безпеці України” є вибірковою дисципліною зі спеціальності 106 “Географія”, яка викладається студентам-магістрам другого курсу (денної форми навчання) у третьому семестрі в обсязі 3,5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS). Для опанування цієї дисципліни відведено 16 лекційних годин і 8 годин практично-семінарських занять. Підсумком вивчення навчальної дисципліни є залік. Також передбачене опрацювання матеріалів з екологічних загроз в безпеці України у вигляді самостійної роботи (66 год.). Навчальна дисципліна має тісні змістові, міжпредметні зв'язки з іншими освітніми компонентами ОПП.

Вивчаючи дану навчальну дисципліну, магістри набувають знань про екологічні загрози в безпеці України та заходи щодо їхньої нейтралізації. Важливим також є формування у студентів комплексного уявлення про ситуацію і проблеми визначення загроз в екологічній безпеці України, розвиток у магістрів системи знань, умінь і навичок з теоретичних і практичних питань еколого-безпечного розвитку задля їхнього використання в управлінській та виробничій

діяльності, набуття світового досвіду у вирішенні складних екологічних і техногенних проблем.

Основні завдання у навчальному процесі: вивчити основи впровадження економічного, організаційного й правового механізмів забезпечення екологічної безпеки розвитку територій і можливостей їх використання на практиці; виробляти у студентів комплекс з теоретичних і проблемних знань з навчального курсу; навчити розробляти територіальні програми з охорони навколишнього середовища; робити оцінку економічної та соціальної ефективності природоохоронних заходів; оволодіти методикою оцінювання збитків від негативного економічного впливу на довкілля.

Внаслідок вивчення навчальної дисципліни “Екологічні загрози в національній безпеці України” очікується ефективно застосування знань на практиці. Передбачено, що магістранти повинні знати: теоретичні та нормативно-правові основи у проблематиці екологічних загроз; теоретичні та нормативно-правові аспекти геопросторового розвитку; основи державної політики у сфері екологічної безпеки; типи загроз у національній безпеці України; розуміти соціальні, технічні та економічні види забезпечення екологічної безпеки; прояв екологічних загроз у регіональному вимірі; теоретичні основи формування екологічної політики; теоретичні аспекти раціонального природокористування й охорони довкілля; сучасні методики оцінки природних і техногенних небезпек; аналіз і керування ризиками техногенних небезпек; методику проведення екологічних досліджень; методи організації природоохоронної діяльності; основи геопросторової організації еколого-економічної системи.

Студенти-магістри повинні вміти: давати оцінку наслідкам природних і техногенних загроз; аналізувати різні види ризиків і застосовувати методи керування ними; систематизувати і упорядковувати види екологічних ситуацій (у тому числі надзвичайних); виявляти, ідентифікувати та аналізувати можливі екологічні загрози й ризики; пропонувати комплекс заходів відносно запобігання надзвичайним ситуаціям, а також вміти усунути їхні негативні наслідки; виявляти тип ситуації та робити оцінку екологічних

ризиків; розробляти послідовність з мінімізації екологічних ризиків; давати характеристику екологічно небезпечних об’єктів; здійснювати комплексний аналіз екологічної ситуації навколишнього середовища певної території та прогнозувати екобезпеку небезпечних об’єктів; пропонувати комплекс заходів, які спрямовані на зменшення чи ліквідацію негативних екологічних наслідків від різних видів економічної діяльності; вести усну, письмову та он-лайн дискусії, аргументовану полеміку з питань безпечного екологічного розвитку; аналізувати міжнародний досвід з проблематики екологічної політики та практики; фахово і професійно висловлювати думку про переваги і недоліки екологічної політики щодо конкретних регіонів; на практиці використовувати інструменти забезпечення екологічної безпеки на локальному рівні територіальних утворень, а також підприємств; пропонувати і впроваджувати заходи відносно попередження негативної техногенної діяльності [14].

У процесі вивчення навчальної дисципліни “Екологічні загрози в національній безпеці України” студенти опановують важливі поняття і терміни, зокрема: “небезпека”, “безпека”, “загроза”, “ризик” і т. д., а також методологічні способи до оцінювання екологічних загроз і ризиків. Вивчають нормативно-законодавчу базу у сфері екологічних загроз в національній безпеці України, види екологічних загроз, етапи аналізу екологічного ризику в географічних системах, зокрема, перший етап – ідентифікація загрози. Студенти-магістранти характеризують інтенсивність екологічних загроз в Україні, встановлюють залежності за фактором концентрації типів і підтипів екологічних загроз на території України. Також студенти аналізують антропогенне порушення і техногенну перевантаженість території України, різні види загроз екологічній безпеці, а також виникнення і наслідки екологічних загроз внаслідок військової та іншої екологічно небезпечної діяльності. Екологічна компетентність виявляється у системі знань, що забезпечує студентів-магістрів до діяльності у природному оточенні і побуті, коли набуті екологічні знання, досвід і навички застосовуються у вмінні виявляти екологічні загрози в національній безпеці, усвідомлювати

їхні наслідки для довкілля та приймати заходи щодо їхньої нейтралізації.

У процесі вивчення даної дисципліни студенти опановують наступні теми лекцій: 1. Еволюція підходів у галузі дослідження загроз та ризиків; 2. Основні поняття про загрози, небезпеки та ризик. Підходи до оцінювання екологічних загроз та ризиків; 3. Види екологічних загроз. Нормативно-законодавча база в сфері екологічних загроз в національній безпеці України; 4. Ідентифікація загроз – перший етап у процесі оцінювання екологічного ризику; 5. Антропогенне порушення і техногенна перевантаженість території України як екологічна загроза в національній безпеці; 6. Погіршення екологічного стану водних басейнів, зниження якості води та загострення проблеми транскордонних забруднень води – екологічна загроза в національній безпеці в екологічній сфері; 7. Екологічні загрози внаслідок вторгнення росії на територію України: виникнення і наслідки; 8. Заходи щодо нейтралізації загроз в національній безпеці України.

Тематика семінарського заняття і практичних робіт відповідає програмі лекційного курсу. Виконавши практичні роботи студенти поглиблюють і закріплюють знання, які вони здобули на лекційному курсі. На семінарському занятті студенти ознайомлюються і аналізують аналітичний матеріал “Європейський зелений курс: можливість і загрози для України” [18, 19]. Практичні роботи присвячені аналізу екологічних загроз у регіонах України. Студенти вчаться проводити ідентифікацію загрози, описувати і аналізувати її. Вивчають методiku і оцінюють загрози в екологічній безпеці у конкретних регіонах України, а також обґрунтовують пріоритетні заходи з їхньої нейтралізації. Виконуючи практичні роботи, студенти вчаться підбирати та аналізувати необхідну літературу, статистичні матеріали, картографічні праці, упорядковувати та узагальнювати матеріал, робити письмові висновки. Працюючи над виконанням окремих завдань, студенти набувають досвіду проблемного мислення.

Результатом навчання студентів повинно стати набуття загальних і спеціальних (фахових) компетентностей. Дана дисципліна повинна сприяти набуттю програмних

результатів навчання. Серед загальних компетентностей студенти-магістри набувають: спроможність до пошуку, опрацювання та аналізу інформації з різних інформаційних джерел; спроможність навчатися та засвоювати сучасні знання; спроможність формулювати та вирішувати проблемні ситуації; здатність приймати аргументовані рішення і долати проблеми. Серед спеціальних (фахових) компетентностей виділяються: уміння науково аналізувати сучасні проблеми та особливості зв'язків між природою й суспільством із застосуванням принципів раціонального використання регіональних ресурсів, дотримуватись нормативно-законодавчих актів у сфері природокористування, територіального розвитку і планування для розроблення рекомендацій з удосконалення природокористування та забезпечення збалансованого розвитку територій; спроможність розробляти та впроваджувати програми збалансованого розвитку територій, проводити геопланування територій різноманітного ієрархічного рівня; здійснювати професійну оцінку програм, стратегічних рішень і планів розвитку регіонів, тенденцій урбанізації, регіоналізації та глобалізації у світі, здійснювати їхню суспільно-географічну й геоекологічну оцінку і моніторинг; можливість впроваджувати у фаховій діяльності теоретичні положення і практичні знання системного аналізу і синтезу, географічного прогнозування та моделювання; спроможність застосовувати міждисциплінарні підходи під час аналізу проблем природокористування, регіонального та міського розвитку, геопланування та туризму і рекреації, давати оцінку можливих ризиків та їхніх наслідків (соціально-економічних та екологічних), приймати управлінські рішення у сфері природокористування, регіонального та міського розвитку; спроможність проводити науково-педагогічну роботу у вищих навчальних закладах на основі компетентного підходу; спроможність приймати обґрунтовані управлінські рішення у практичній діяльності.

Дисципліна має сприяти набуттю наступних програмних результатів навчання: застосовувати засвоєні теоретичні знання і практичні навички у процесі дослідження природно- і економіко-територіальних

систем на різних ієрархічних рівнях просторової організації; брати участь у підготовці програм і стратегій регіонального та міського розвитку, геоплануванні територій різного ієрархічного рівня; давати оцінку можливих ризиків, геоекологічних та соціально-економічних наслідків впровадження управлінських рішень у галузі природокористування, регіонального та міського розвитку, туризму та рекреації; здійснювати планування й виконання теоретичних і практичних досліджень, обґрунтовувати висновки, робити аналіз і презентацію результатів досліджень.

Забруднення довкілля відбулось у всіх видах природних систем. Забруднення атмосферного повітря відбувається через вибухи, руйнування інфраструктури та пожежі, у результаті викидів токсичних речовин, які розповсюджуються також і за межі України. Забруднення водних ресурсів спричинене отруєнням річок і ґрунтових вод, що призводить до руйнування водних екосистем і може впливати на сусідні країни. Природний баланс на території України порушується у результаті руйнування екосистем, а саме - знищенням лісів, заповідних територій та агроландшафтів. Серйозну загрозу для України та всієї Європи становлять атаки на Чорнобильську зону відчуження та окупація Запорізької АЕС через ризики радіаційного забруднення [17].

Комплекс заходів, що спрямовані на усунення негативних екологічних наслідків російсько-української війни представили Експерти Міндовкілля України та ОБСЄ. У проєкті, який вони запропонували проводитись оцінка екологічної шкоди, що завдала війна. У даному проєкті здійснюються ґрунтовні тематичні дослідження, що дозволяють визначити характер і масштаб впливу військових дій на навколишнє середовище. Для ефективного планування заходів у надзвичайних ситуаціях триває розробка й

вдосконалення урядових механізмів. При цьому у даний напружений, непростий час велика увага надається підготовці та підвищенню кваліфікації фахівців, які здійснюють та відповідають за екологічний моніторинг.

Наша країна розробила сім методологій для оцінки шкоди, завданої війною. Це, зокрема, методології щодо водних, земельних і лісових ресурсів, а також якості повітря. Для їхнього здійснення і проведення ефективної оцінки щодо подальшого відновлення довкілля потрібні термінові та згуртовані дії на міжнародному рівні. Необхідне фінансування, експертна допомога та технологічна підтримка для поновлення зруйнованих екосистем та стійкості перед новими екологічними загрозами.

Перед нашою державою стоїть важливе завдання з подолання екологічних наслідків війни. Для досягнення успіху в процесі подолання наслідків війни важливо враховувати кілька аспектів:

1. Екосистемне відновлення: необхідно активно здійснювати заходи з відновлення лісів, водних резервуарів та інших екосистем, сприяючи природному процесу самовідновлення.

2. Очищення забруднених ресурсів: ефективні програми очищення повітря, води та ґрунту від токсинів та інших забруднюючих речовин є ключовими для забезпечення здоров'я людей та навколишнього середовища.

3. Глобальна співпраця: міжнародна співпраця може значно покращити ефективність програм відновлення та сприяти глобальній стійкості.

4. Соціально-економічна реабілітація: відновлення екологічної інфраструктури також повинно враховувати соціальні та економічні аспекти, сприяючи благополуччю населення.

Висновки

Вибіркова навчальна дисципліна “Екологічні загрози в національній безпеці України” є актуальною на сьогоднішній день і як освітній компонент, займає важливе місце у структурі ОПП “Географія” зі спеціальності 106 “Географія” другого

(магістерського) рівня вищої освіти розробленої у Львівському національному університеті імені Івана Франка. Вивчаючи даний курс, студенти-магістри зможуть вирішувати важливі проблеми України, однією з яких є гарантування екологічної безпеки, а також

зможуть пропонувати першочергові заходи щодо нейтралізації екологічних загроз. Теоретична і практична підготовка майбутніх фахівців призведе до створення безпечних умов життя і діяльності у середовищі

проживання. Навчальна дисципліна є актуальною, бо її вивчення і практичне застосування у перспективі впливатиме на результати майбутнього нашої держави.

Конфлікт інтересів

Автор заявляє, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автор повністю дотримувався етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Візія майбутнього освіти і науки України, 2023. 29 с. URL: <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/Viziya.maybutnoho.osvity.i.nauky.Ukrayiny/12.07.2023/Viziya.maybutnoho.osvity.i.nauky.Ukrayiny-12.07.2023-2.1.pdf> (дата звернення: 6.04.2025).
2. Методичні рекомендації щодо розроблення стандартів вищої освіти. Наказ МОН № 512 від 27.03.2025. URL: <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/2025/03/27/nakaz-mon-512-vid-27-03-2025.pdf> (дата звернення: 20.02.2025).
3. Про затвердження стандарту вищої освіти за спеціальністю 106 “Географія” для другого (магістерського) рівня вищої освіти. Наказ № 519 від 11.05.2021. м. Київ. 18 с. URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/zatverdzeni_standarty/2021/05/17/106.Heohrafiya.mahistr_17.06.doc (дата звернення: 12.03.2025).
4. Перелік галузей знань та спеціальностей за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти та фахової передвищої освіти. Постанова КМ України № 1021 від 30.08.2024 р. С. 4.
5. Дронова О. Л. Фактори ризику техногенних надзвичайних ситуацій в Україні. Київ : Інститут географії НАН України, 2011. 270 с.
6. Ліпкан В. А. Національна безпека України : навч. посіб. Київ : КНТ, 2009. 576 с.
7. Орел С. М., Мальований М. С., Орел Д. С. Оцінка екологічного ризику. Вплив на здоров'я людини. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. 232 с.
8. Хилько М. І. Екологічна безпека України : Навч. посіб. К., 2017. 266 с.
9. Біланюк В., Іванов Є., Тиханович Є. Виникнення надзвичайних ситуацій і подій у Львівській області в умовах війни. Географічна освіта і наука: виклики і поступ: матер. міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 140-річчю географії у Львівському університеті (м. Львів, 18-20 травня 2023 р.) (відповід. редактори: В. Біланюк, Є. Іванов. У 3-ох томах. Львів : Простір-М, 2023. Т. 1. С. 260-265.
10. Данилишин Б., Степаненко А., Ральчук О. та ін. Безпека регіонів України і стратегія її гарантування. Природно-техногенна (екологічна) безпека: у 2-ох т. Т. 1. К. : Наукова думка, 2008. 392 с.
11. Качинський А. Б. Безпека, загрози і ризик: наукові концепції та математичні методи. К. : Ін-т пробл. нац. безпеки, 2004. 472 с.
12. Крайнюков О. М., Крайнюкова А. М., Кривицька І. А. Еколого-токсикологічна оцінка якості поверхневих вод, ґрунтів та донних відкладень: навчально-методичний посібник. Харків : Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна. 2020. 100 с.
13. Некос А. Н., Хрипко О. І., Болотова О. О. Екологічна безпека ґрунтів в умовах інтенсивного сільськогосподарського землекористування. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 42. С. 137-146. URL: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-09>.
14. Перхач О. Р. Екологічні загрози в національній безпеці України : навч. посіб. для студентів спеціальності 106 “Географія”, другий (магістерський) рівень вищої освіти. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2023. 130 с.
15. Заподіяні війною збитки довкіллю України, 2025 р. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-society/3928441-zapodiani-vijnou-zbitki-dovkillu-ukraini-perevisili-65-milardiv.html> (дата звернення: 22.02.2025).
16. Оновлена щотижнева інфографіка про завдані збитки довкіллю внаслідок збройної агресії РФ станом на 21.02.2025 р. URL: <https://www.dei.gov.ua/post/onovlena-shchotizhneva-infografika-pro-zavdani-zbitki-dovkillyu-vnaslidok-zbroynoi-agresii-rf-stanom-na-21.02.2025> (дата звернення: 20.03.2025).
17. Збитки довкіллю від війни, 2025. URL: <https://mepr.gov.ua/topics/novyny/zbytky-dovkillyu-vid-vijny/> (дата звернення: 7.04.2025).
18. Європейський зелений курс: можливості і загрози для України. URL: <https://www.rac.org.ua/vydannya/analitichni-dokumenty/evropeyskyy-zelenyy-kurs-mozhlyvosti-ta-zagrozy-dlya-ukrayiny-analitichnyy-dokument-2020> (дата звернення: 13.02.2025).

19. Про виклики і загрози національній безпеці України в екологічній сфері та першочергові заходи щодо їх нейтралізації (Рішення від 23 березня 2021 року № 111/2021). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/n0018525-21> (дата звернення: 15.03.2025).

Стаття надійшла до редакції 01.05.2025

Стаття рекомендована до друку 10.06.2025

O. R. PERKHACH, PhD (Geography), Associate Professor
Associate Professor of the Department of Rational Use of Natural Resources and Nature Conservation
e-mail: oxana.perkhach@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5702-9048>
*Ivan Franko National University of Lviv,
41, Doroshenko Str., Lviv, 79007, Ukraine*

RELEVANCE OF TEACHING THE COURSE “ECOLOGICAL THREATS IN THE NATIONAL SECURITY OF UKRAINE” IN HIGHER SCHOOL

Purpose. To update the discipline “Ecological Threats in the National Security of Ukraine” as a necessary educational component today, since it is aimed at providing the necessary theoretical knowledge and skill that are mandatory for the formation of masters in the specialty 106 “Geography” of systemic knowledge about the most important environmental threats in Ukraine.

Methods. Systems analysis, and the principle of interconnection.

Results. The works of Ukrainian scientists are analyzed, and the Standards of Higher Education of Ukraine, methodological recommendations for the development of higher education standards, resolutions of the Cabinet of Ministers of Ukraine and other regulatory documents are considered. The structure of the academic discipline and the main topics of lectures, seminars and practical classes are presented. General and professional competencies are given, with the help of which the study of the discipline is ensured. The main environmental threats to the national security of Ukraine and ways to overcome them are characterized. Aspects that need to be taken into account to achieve success in the process of overcoming the consequences of the Russian-Ukrainian war are highlighted, namely: ecosystem restoration; cleaning of contaminated resources; global cooperation; socio-economic rehabilitation, ecological security and national security. The program learning outcomes are revealed: to apply the acquired theoretical knowledge and practical skills to study natural and socio-territorial systems at different levels of spatial organization; participate in the development of programs and strategies for urban and regional development, planning of territories of various hierarchical levels; assess possible risks, identify types of threats and their regional features of functioning, socio-economic and geo-ecological consequences of implementing management decisions in the field of nature management, urban and regional development, recreation and tourism; plan and carry out theoretical and applied research, draw substantiated conclusions, analyze and present research results.

Conclusions. The academic discipline “Environmental Threats in the National Security of Ukraine” is expedient to teach to students of specialty 106 “Geography” of the second (master's) level of higher education. Theoretical and practical training of future specialists will create safe conditions for life and activity in the living environment, its study and practical application in the future will be the result of the future of our state.

KEYWORDS: *academic discipline, competencies, ecological threat, national security, environmental safety, environmental pollution.*

References

1. Vision of the future of education and science in Ukraine. (2023). Retrieved from <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/Viziya.maybutnoho.osvity.i.nauky.Ukrayiny/12.07.2023/Viziya.maybutnoho.osvity.i.nauky.Ukrayiny-12.07.2023-2.1.pdf> (in Ukrainian)
2. Methodological recommendations for the development of higher education standards. (2025). Order of the Ministry of Education and Science No. 512 of 27.03.2025. Retrieved from <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/2025/03/27/nakaz-mon-512-vid-27-03-2025.pdf> (in Ukrainian)

3. On approval of the standard of higher education in the specialty 106 “Geography” for the second (master's) level of higher education (2021). Order No. 519 dated 05/11/2021. Kyiv. Retrieved from https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/zatverdzeni_standarty/2021/05/17/106.Heohrafiya.mahistr_17.06.doc . (in Ukrainian)
4. List of fields of knowledge and specialties in which applicants for higher education and professional pre-higher education are trained. (2024). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1021 of 30.08.2024. P. 4. (in Ukrainian)
5. Dronova, O. L. (2011). Risk factors of man-made emergencies in Ukraine. Kyiv: Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine. (in Ukrainian)
6. Lipkan, V. A. (2009). National Security of Ukraine: Textbook. Kyiv: KNT. (in Ukrainian)
7. Orel, S. M., Malyovany M. S., & Orel D. S. (2014). Assessment of environmental risk. Impact on human health. Kherson : OLDI-PLUS. (in Ukrainian)
8. Khylyko, M. I. (2017). Environmental Safety of Ukraine. K. (in Ukrainian)
9. Bilanyuk, V., Ivanov, E., & Tykhanovych, E. (2023). The emergence of emergency situations and events in the Lviv region during wartime. In V. Bilanyuk, E. Ivanov (Eds.) *Proceedings of the International Scientific-Practical Conference dedicated to the 140th anniversary of geography at Lviv University Geographical education and science: Challenges and Progress* (Lviv, May 18-20, 2023) (In 3 vol., 1, pp. 260-265). Lviv : Prostir-M. (in Ukrainian)
10. Danylyshyn, B., Stepanenko, A., & Ralchuk, O. (2008), Security of the regions of Ukraine and the strategy of its guarantee. *Natural and man-made (ecological) security* (in 2 vol.), Vol. 1. Kyiv: Naukova Dumka.
11. Kaczynskiy, A. B. (2004). Security, threats and risk: scientific concepts and mathematical methods. Kyiv: Institute of National Security Problems.
12. Krainyukov, O. M., Krainyukova, A. M., & Kryvytska, I. A. Ecological and toxicological assessment of surface water quality, soils and bottom sediments: teaching and methodical manual. Kharkiv : Kharkiv National University named after V. N. Karazin. 2020. 100 p. (in Ukrainian)
13. Nekos, A. N., Khrypko, O. I., & Bolotova, O. O. (2024). Ecological safety of soils in conditions intensive agricultural land use. *Man and environment. Issuers of neoecology*, (42). 137-146. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-09> (in Ukrainian)
14. Perkhach, O. R. (2023). Ecological threats in the national security of Ukraine: a textbook for students of the specialty 106 “Geography”, second (master's) level of higher education. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv. (in Ukrainian)
15. War-induced environmental damage in Ukraine, 2025. Retrieved from <https://www.ukrinform.ua/rubric-society/3928441-zapodiani-vijnou-zbitki-dovkillu-ukraini-perevisili-65-milardiv.html> (in Ukrainian)
16. Updated weekly infographics on environmental damage caused by the armed aggression of the Russian Federation as of 02/21/2025. Retrieved from <https://www.dei.gov.ua/post/onovlena-shchotizhneva-infografika-pro-zavdani-zbitki-dovkillu-vnaslidok-z...> (in Ukrainian)
17. Environmental damage from war, 2025. Retrieved from <https://mepr.gov.ua/topics/novyny/zbytky-dovkillu-vid-vijny/> (in Ukrainian)
18. European Green Deal: opportunities and threats for Ukraine. Retrieved from <https://www.rac.org.ua/vydannya/analitichni-dokumenty/evropeyskyy-zelenyy-kurs-mozhlyvosti-ta-zagrozy-dlya-ukrayiny-analitichnyy-dokument-2020> (in Ukrainian)
19. On challenges and threats to the national security of Ukraine in the environmental sphere and priority measures to neutralize them (Decision of March 23, 2021 No. 111/2021). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/go/n0018525-21> (in Ukrainian)

The article was received by the editors 01.05.2025

The article is recommended for printing 10.06.2025

ХРОНІКА

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-12>

УДК (UDC): 005.745:[378.4.093.5:502/504](477.54-25)

А. А. ГРЕЧКО¹

викладачка, аспірантка кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи

e-mail: a.a.hrechko@karazin.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9987-2586>

С. В. БУРЧЕНКО¹, доктор філософії з наук про Землю

доцент кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи

e-mail: s.burchenko@karazin.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5366-5397>

А. Г. КОТ¹

старша викладачка, аспірантка кафедри екології та менеджменту довкілля

e-mail: anna.kot@karazin.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4700-2620>

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

м. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

КОНФЕРЕНЦІЇ КАРАЗІНСЬКОГО НАВЧАЛЬНО-НАУКОВОГО ІНСТИТУТУ ЕКОЛОГІЇ ЗА ПІДТРИМКИ ПРОЄКТІВ ПРОГРАМИ ЕРАЗМУС+ SUNRISE ТА DOMANI

Традиційно навесні в Каразінському навчально-науковому інституті екології проведено три конференції, а саме: Всеукраїнська студентська та аспірантська англomовна конференція “Ecology is a priority”, IV Міжнародна інтернет-конференція «Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи» та XXVII Міжнародна науково-практична конференція «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: Освіта – Наука – Виробництво – 2025». Конференції присвячені розгляду: сучасних екологічних проблем та шляхів їх вирішення, прикладних екологічних досліджень, екологічних наслідків російсько-української війни та шляхів повоєнної ревіталізації природних комплексів. Крім того, велика увага приділена проблемам та перспективам розвитку заповідної справи в Україні і світі, моніторингу довкілля, питанням формальної та неформальної освіти з моніторингу довкілля і заповідної справи. Родзинкою щорічних конференцій стало їх проведення під егідою двох міжнародних проєктів Еразмус + SUNRISE - Підтримка наступного покоління українських науковців: проєкт з підвищення потенціалу університетів та покращення підготовки докторантів та DOMANI - Розвиток екосистем мікрокваліфікацій в Україні та Монголії для конкурентоспроможної та стійкої зеленої економіки. Матеріали всіх конференцій опубліковані в збірках тез доповідей, розміщені в репозитарії Каразінського університету, а учасники отримали Сертифікати про участь.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: міжнародна конференція, всеукраїнська конференція, Еразмус+, проєкт SUNRISE, проєкт DOMANI, актуальні проблеми, екологія, заповідна справа, моніторинг довкілля

Як цитувати: Гречко А. А., Бурченко С. В., Кот А. Г. Конференції Каразінського навчально-наукового інституту екології за підтримки проєктів програми Еразмус+ SUNRISE та DOMANI. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2025. Вип. 32. С. 155 - 164. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-12>

In cites: Hrechko, A. A., Burchenko, S. V., & Kot, A. H. (2025). Conferences of the Karazin Institute of Environmental Sciences with the support of the Erasmus+ projects SUNRISE and DOMANI. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (32), 155 - 164. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-12> (in Ukrainian)

Вступ

Популяризація науки в Каразінському навчально-науковому інституті екології є одним із наріжних каменів функціонування. Саме

для цього щорічно проводиться низка наукових заходів, на яких збираються дослідники не лише з України, а і з партнерських:

© Гречко А. А., Бурченко С. В., Кот А. Г., 2025



[This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

закордонних установ. Серію весняних конференцій представляють наступні:

- Всеукраїнська студентська та аспірантська англомовна конференція “Ecology is a priority”;
- IV Міжнародна інтернет-конференція «Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи»;
- XXVII Міжнародна науково-практична конференція «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природо-користування: Освіта – Наука – Виробництво – 2025».

Результати і обговорення

Щорічна Всеукраїнська студентська та аспірантська англомовна конференція “Ecology is a priority” відбулась 16 березня 2025 року конференція вперше стала відкритою для участі не лише студентів бакалаврату та магістратури, а і здобувачів освітньо-наукового рівня доктор філософії, що сприяло розширенню кола учасників. Цього річ конференція націлена на обговорення таких питань:

- сучасні екологічні проблеми та шляхи їх вирішення;
- прикладні екологічні дослідження;
- екологічні наслідки російсько-української війни.

До онлайн засідання конференції долучились 54 учасника, які представляли різні освітні та наукові установи України – Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Інститут екології Карпат НАН України, Одеський національний університет

У 2025 році до проведення цих наукових заходів долучились партнери Каразінського ННІ екології за двома проектами програми Еразмус+ : **SUNRISE** - Підтримка наступного покоління українських науковців: проєкт з підвищення потенціалу університетів та покращення підготовки докторантів та **DOMANI** - Розвиток екосистем мікрокваліфікацій в Україні та Монголії для конкурентоспроможної та стійкої зеленої економіки.

Мета. Проаналізувати основні аспекти проведення весняної серії наукових заходів в Каразінському ННІ екології.

імені І. І. Мечникова, Уманський національний університет та Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (рис.1).

Особливу цікавість серед учасників викликала секція «Прикладні екологічні дослідження», в якій студенти та аспіранти поділились результатами своїх наукових досліджень. Після проведення конференції всім учасникам було розіслано збірник матеріалів конференції, який опубліковано в репозитарії Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна [1, 2], та сертифікати учасника для студентів та аспірантів. Керівники наукових досліджень отримали подяку за підготовку здобувачів освіти (рис. 2).

У квітні 2025 року вже традиційно відбулася IV Міжнародна інтернет-конференція «Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи».

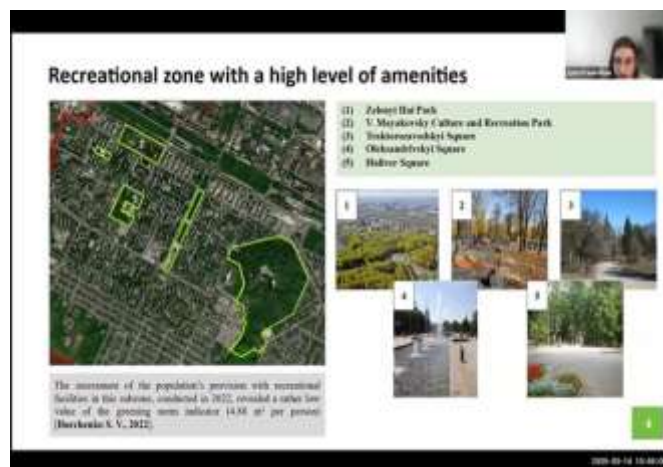


Рис. 1 – Представлення доповідей на конференції “Ecology is a priority”

Fig. 1 – Presenting papers at the conference “Ecology is a priority”



Рис. 2 – Сертифікат учасника та подяка за підготовку студента до участі у конференції “Ecology is a priority”

Fig. 2 – Certificate of participation and letter of thanks for preparing the student for participation in the conference “Ecology is a priority”

Цей науковий захід організований кафедрою екологічного моніторингу та заповідної справи Навчально-наукового інституту екології В. Н. Каразіньського університету.

В цьому році конференцію присвячено обговоренню наступних питань:

- Вплив військових дій на довкілля та шляхи повоєнної ревіталізації природних комплексів.
- Проблеми та перспективи розвитку заповідної справи в Україні і світі.
- Моніторинг довкілля: наука, освіта, практика.
- Формальна та неформальна освіта у заповідній справі.

У цьогорічній онлайн-конференції взяли участь 54 учасники, які долучилися до пленарних і секційних засідань, активно обговорюючи актуальні питання формальної й неформальної освіти в галузі екології. До підготовки матеріалів для публікацій за результатами конференції долучилися 97 авторів і співавторів, що свідчить про високий рівень зацікавленості наукової спільноти у тематиці заходу. Традиційно конференція об'єднала представників широкого кола освітніх, наукових і природоохоронних установ з різних куточків України. Серед освітніх закладів активну участь у заході взяли представники таких провідних вищих навчальних закладів, як:

- Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (м. Дніпро),
- Державний університет "Київський авіаційний інститут" (м. Київ),
- Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" (м. Харків),
- Одеський національний університет імені І. І. Мечникова (м. Одеса),

- Луцький національний технічний університет (м. Луцьк),
- Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича (м. Чернівці),
- Національний університет «Києво-Могилянська академія» (м. Київ),
- Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна (м. Харків),
- Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника (м. Івано-Франківськ),
- Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка (м. Тернопіль),
- Київський національний університет імені Тараса Шевченка (м. Київ),
- Уманський державний університет (м. Київ),
- Херсонський державний університет (м. Херсон).

До роботи конференції також долучилися науковці з провідних дослідницьких установ, зокрема з Інституту екології Карпат НАН України та Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН України.

Не менш важливою участю представників природоохоронних організацій, серед яких – Національний природний парк «Кременецькі гори» та Національний природний парк «Дворічанський», які поділилися досвідом у сфері збереження біорізноманіття та ведення природоохоронного моніторингу.

Окрім того, конференція об'єднала освітян і фахівців закладів професійної (професійно-технічної) освіти, які в цьому році долучились у якості слухачів конференції, таких як:

- Миколаївський професійний промисловий ліцей (м. Миколаїв),

- Навчально-методичний центр професійно-технічної освіти у Рівненській області (м. Рівне),
- Дніпровське вище професійне училище будівництва (м. Дніпро),
- Білоцерківський інститут неперервної професійної освіти (м. Біла Церква),
- Хотівський академічний ліцей імені Левка Лук'яненка (м. Хотів),
- Київський професійний коледж «Синергія» (м. Київ),
- Білоцерківська гімназія «Звитяга» — початкова школа №8 (м. Біла Церква).

Вже традиційно на конференції були представлені дослідження кафедри екології Національного університету «Києво-Могилянська академія» під керівництвом проф. Горошкової Лідії Анатоліївни. Першим виступом став виступ Юлії Корнійчук, яка представила своє дослідження на тему “Вплив війни на екосистему гідрологічного заказника місцевого значення «Молочний лиман»”, наступними свої доробки на тему “Оцінка впливу війни на поверхневі води на півдні України (на прикладі річки Дніпро)” продемонстрував Станіслав Горошков, завершив представлення здобутків НУ “Києво-Могилянська академія” Артем Менакер з виступом на тему “Оцінка впливу війни на агроландшафти Херсонської області”. Всі здобувачі проводили свої дослідження в межах секції “Вплив військових дій на довкілля та шляхи повоєнної ревіталізації природних комплексів” та продемонстрували свої дослідження англійською мовою (рис. 3).

Здобувачка Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара Ольга

Приходько викликала жвавий інтерес учасників конференції своєю доповіддю про виявлення червонокнижної рослини — проліски сибірської — на території одного з найбільших промислових підприємств міста Дніпро. Цей неочікуваний факт засвідчує здатність окремих видів зберігатися навіть в умовах значного техногенного навантаження.

Аспірант кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи Каразінського навчально-наукового інституту екології Вадим Гололобов поділився своїм дослідженням на тему: “Компостування листя в міському середовищі: внесок в сталий розвиток міст”. В ході дослідження аспірант поділився своїми ідеями щодо використання біопрепаратів для процесу компостування в умовах міського середовища, на його думку таке компостування дозволить досягти цілей сталого розвитку, зокрема ЦСР 8, 9, 11, 12, 13.

Аспірантка Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича Родіка Тиміш поділилась частиною свого дисертаційного дослідження. В рамках пленарного засідання вона виступала з темою “Екологічні виклики та їх вплив на розвиток органічного землеробства в Чернівецькій області”. В ході виступу аспірантка розкрила поняття органічного землеробства, ключові особливості розвитку органічного землеробства в межах території свого дослідження, окреслила переваги від використання цього підходу та окреслила основні виклики, які виникають в ході його реалізації.

До роботи секції «Вплив військових дій на довкілля та шляхи повоєнної ревіталізації природних комплексів» долучились учасники з провід-

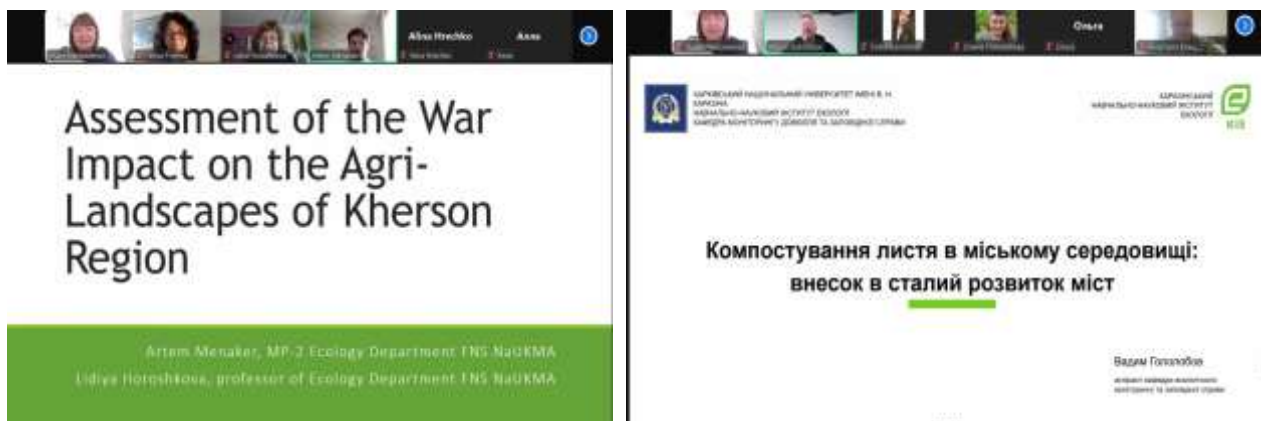


Рис. 3 – Представлення доповідей на конференції «Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи»

Fig. 3 – Presenting papers at the conference ‘Current issues of formal and non-formal education in environmental monitoring and conservation’

них українських університетів, зокрема

Національного університету «Києво-Могилянська академія», Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» та Одеського національного університету імені І. І. Мечникова. Тематика досліджень охоплювала широке коло актуальних питань, зокрема вплив повномасштабної війни на гідрологічні заказники, поверхневі води, агроландшафти південних регіонів України, лісові екосистеми, природно-заповідні об'єкти, а також на функціонування зеленої та блакитної інфраструктури в умовах бойових дій. Окрему увагу приділено проблемам деградації урбанізованих ґрунтів під мілітарним впливом, комплексному аналізу антропогенних і військових чинників у містах, перспективам розвитку зеленої економіки в післявоєнний період, а також соціальним аспектам екологічної кризи, зокрема явищу екотривоги серед підлітків. Значна частина доповідей була спрямована на пошук рішень щодо відновлення довкілля через екологічно орієнтовані стратегії, включаючи зелене відновлення територій та збереження Смарагдової мережі.

У секції «Проблеми та перспективи розвитку заповідної справи в Україні і світі» взяли участь дослідники з Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка, Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Інституту екології Карпат НАН України та Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника. У представлених роботах учасників розглядалися актуальні питання стану та трансформації природно-заповідного фонду в умовах воєнних дій, а також шляхи його адаптації до нових викликів. Дослідники аналізували індекси інсуляризованості природоохоронних територій, динаміку заповідності у регіональному розрізі, а також світовий досвід зонування природоохоронних об'єктів у порівнянні з українськими реаліями. Значна увага приділялася перспективам створення нових заповідних об'єктів в аграрно трансформованих громадах, втратам природо-заповідного фонду внаслідок війни, а також глобальним стратегіям збереження біорізноманіття в міських і сільських територіях.

Учасники секції «Моніторинг довкілля: наука, освіта, практика» було представлено широкий спектр досліджень, що охоплюють як фундаментальні, так і прикладні аспекти екологічного моніторингу. Учасники з Державного університету "Київський авіаційний інститут", Національного

технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Інституту екології Карпат НАН України, Одеського національного університету імені І. І. Мечникова, Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, Луцького національного технічного університету, Волинського територіального відділення Малої академії наук, Національного природного парку «Слобожанський», Херсонського державного університету, Уманського національного університету, Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича та Національного природного парку «Кременецькі гори» презентували роботи, присвячені моніторингу природних ресурсів, атмосферного повітря, стану водних екосистем, впливу промислових підприємств і транспортної інфраструктури на довкілля, а також індикаторним видам у міських урболандшафтах.

Важливу увагу приділено методикам оцінки якості води, аналізу кліматичних змін, екологічним загрозам в агроекосистемах та новітнім підходам до формування екологічної свідомості через освітні програми. Також були висвітлені питання правового регулювання моніторингу, використання біоіндикаторів, зокрема лишайників та мікрофітобентосу, дослідження впливу теплових островів у малих містах, а також екологічних наслідків війни. Тематика охоплювала як локальні кейси (наприклад, м. Біла Церква, річка Сіверський Донець, Черемський природний заповідник, Шацький НПП), так і загальнонаціональні виклики, зокрема інтеграцію європейських підходів до моніторингу природного фону радіації.

У секції «Формальна та неформальна освіта у заповідній справі» учасники висвітлювали широкий спектр тем, пов'язаних із екологічною освітою, підготовкою фахівців та новими освітніми підходами в заповідній справі. Було представлено міжнародний досвід, інноваційні цифрові інструменти та практики залучення молоді до збереження природної спадщини.

Крістіна Марран, директор Відкритого університету Естонського університету наук про життя (м. Тарту, Естонія) презентувала проєкт розвитку мікрокваліфікацій для «зеленої» економіки в Україні та Монголії в межах програми ERASMUS+, акцентуючи увагу на розбудові потенціалу та міждержавному обміні досвідом. Представники Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара розглянули особливості екологічного виховання в Норвегії, а також актуальні проблеми та перспективи розвитку екологічної освіти в Україні. Представники Харківського

національного університету імені В. Н. Каразіна (Надія Максименко, Дарина Кочегіга) наголо-сили на важливості підготовки фахівців за осві-тньою програмою «Заповідна справа» для дося-гнення цілей сталого розвитку, а також (Анна Шабалін, Алла Некос) розповіли про інноваційні цифрові рішення в екологічній освіті дітей до-шкільного віку. Роман і Зінаїда Шевченко з За-кладу загальної середньої освіти №210 Оболон-ського району м. Києва поділилися досвідом ор-ганізації формальної та неформальної освітньо-краєзнавчої роботи на геоторіях історичних ландшафтів України. Ірина Шпаківська з Інсти-туту екології Карпат НАН України (м. Львів) та Ірина Яворська з Національного природного па-рку «Бойківщина» (с. Бориня) висвітлили зна-чення старих дерев у міському середовищі як унікальних майданчиків для екологічної освіти. Матеріали секції відображають міждисципліна-рний підхід, синергію формальної й неформаль-ної освіти та актуальні стратегії формування екологічної свідомості у суспільстві.

Всі учасники прийшли до омріяного ви-сновку щодо спільного бажання провести насту-пну зустрічі в очному форматі. Після прове-дення конференції всім учасникам розіслано збі-рник матеріалів конференції та сертифікати уча-сника (рис. 4) [3, 4].

Проведення XXVII Міжнародної нау-ково-практичної конференції «Екологія, охо-рона навколишнього середовища та збалансо-ване природокористування: освіта – наука – ви-робництво – 2025», на базі Навчально-науко-вого інституту екології Харківського націона-льного університету імені В. Н. Каразіна, уже традиційно, стало платформою для конструкти-вного діалогу між науковцями, освітянами, представниками державного та громадського секторів, бізнесу, об'єднаними спільною метою - формування сталого природокористування, посилення охорони довкілля й інтеграції еколо-гічних підходів у різні сфери діяльності. Захід було проведено за підтримки міжнародних проєктів Erasmus+ та SUNRISE. За результа-тами конференції підготовлено збірник матері-алів, у якому висвітлено провідні напрями су-часних екологічних досліджень і прикладних ініціатив (рис. 5).

У роботі конференції взяли участь понад 150 учасників - науковців, студентів, аспіран-тів, представників органів місцевого самовря-дування й громадських організацій з різних ре-гіонів України: Харківської, Полтавської, Сум-ської, Київської, Івано-Франківської, Микола-ївської областей тощо. До наукового діалогу



Рис. 4 –Збірник матеріалів конференції та сертифікат учасника
Fig. 4 - Collection of conference materials and certificate of participation

долучилися експерти з Німеччини, Польщі та Чехії. Тематика доповідей охоплювала питання оцінки якості вод, стану ґрунтів, виклики екологічної освіти та наслідки техногенних загроз в умовах збройного конфлікту. Виступи відзначались

високим рівнем науковості, практичним спрямуванням і актуальністю в умовах повоєнного відновлення України. Усі учасники конференції отримали сертифікати, що підтверджують їхню участь у науковому заході (рис. 5).



Рис. 5 –Збірник матеріалів конференції та сертифікат учасника
Fig. 5 – Collection of conference materials and certificate of participation

Робота конференції проходила за чотирма тематичними напрямками, що охоплювали широке коло питань сучасної екології, практики природокористування й освітніх стратегій. Учасники розглядали виклики сталого розвитку, проблеми екологічної освіти, охорони природи та техногенної безпеки, зокрема в контексті військових дій. У межах секції «Збалансоване природокористування та менеджмент довкілля» свої результати представили дослідники з провідних українських наукових установ, зокрема Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Державного біотехнологічного університету, Львівського національного університету імені Івана Франка, Українського науково-дослідного інституту екологічних проблем, Інституту ринку і економіко-екологічних досліджень НАН України, Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова.

Учасники обговорювали проблеми прогнозування водної ерозії ґрунтів в Україні, громад

ське сприйняття якості поверхневих вод у Полтавській області, а також нормативно-правові аспекти ландшафтного планування. Значну увагу приділено екологічному аудиту земель, інноваційним підходам до охорони довкілля в контексті ESG-послуг, деградації ґрунтів у трансформованих агроландшафтах. Тематика доповідей включала також вплив сільськогосподарських технологій на екологічний стан територій, біологічний захист деревної рослинності (зокрема каштана звичайного), оцінку техногенного навантаження кар'єрних виробництв на підземні води. Обговорено й соціоекологічні аспекти, як-от роль зелених зон у збереженні психоемоційного здоров'я мешканців міст та вплив туризму на трансформацію екосистемних послуг. Загалом, доповіді відзначалися міждисциплінарністю, високим рівнем актуальності та чітким практичним спрямуванням.

Напрямок секції 2 «Екологічна освіта: стратегія розвитку» об'єднав науковців і педагогів з України та Чехії, які представили сучасні підходи до вдосконалення екологічної освіти. Доповіді охоплювали теми цифровізації навчального процесу, екологізації освітнього середовища, формування

екологічної свідомості. Зокрема, Ачасова А.О. (Прага, Чехія) проаналізувала глобальні тренди трансформації аграрної освіти в цифрову епоху, а Безроднова О.В. (Харків) висвітлює досвід інтеграції екологічної компоненти в професійну підготовку магістрів-біологів. Літвак О.А. і Літвак С.М. (Миколаїв) поділилися методикою використання кейс-методу у навчальному процесі, а Логвіненко І.М. (Харків) розкрила роль формування екологічної свідомості у системі екологічного виховання. Особливий інтерес викликали прикладні підходи до екологічної освіти. Так, Мандрик О.М. і Хованець М.Т. презентували досвід використання реконструкції очисних споруд у навчальних практиках, а Орфанова М.М. і Мандрик О.М. – шляхи екологізації освітнього простору. Ричак Н.Л. (Харків) представила методику викладання курсу «Оптимізація природокористування», Сараненко І.І. (Херсон) – можливості інтеграції OpenStreetMap у навчання, а Щокіна М.М. (Харків) дослідила екопотенціал малих міст на прикладі м. Люботин. Усі представлені напрацювання засвідчили важливість впровадження цифрових технологій, практико-орієнтованого навчання та міждисциплінарного підходу в екологічну освіту як ключовий чинник забезпечення сталого розвитку.

Секція 3 «Природоохоронна діяльність та заповідна справа» була присвячена важливим аспектам охорони природи, збереження біорізноманіття та функціонування природно-заповідного фонду в умовах сучасних екологічних викликів. Розглядалися як глобальні, так і регіональні проблеми - від мікропластикового забруднення водних об'єктів до енергоефективного будівництва на охоронюваних територіях. Особливої уваги набула тематика впливу воєнних дій на екосистеми заповідників, зокрема на прикладі Київщини, де було зафіксовано втрати біорізноманіття та пошкодження природоохоронної інфраструктури. Значний інтерес викликала доповідь Крайнюкова О.М. і Проненка М.О., присвячена загрозам мікропластику для водних біоорганізмів. Вагомий внесок зробили також дослідження Крижанівського Є. І. та Угриновського І. Т. щодо енергоефективного будівництва в Карпатському регіоні.

Четверта секція конференції охопила одну з найбільш актуальних і водночас найактуальніших тем — техногенну безпеку та екологічні наслідки воєнних дій на довкілля України. У ході засідання були представлені доповіді, що стосувалися як загальнонаціональних проблем, так і локальних прикладів впливу збройного конфлікту на природне середовище. Значна увага була приділена екологічним аспектам руйнування лісового фонду України, оцінці якості вод і повітря в регіонах, що зазнали бойових дій, а також методам

просторового аналізу забруднення з використанням індексу AQI та дистанційного зондування Землі. Особливої уваги заслуговує дослідження Гарбар О.В. та Гарбара Д.А. з оцінки екологічних збитків на прикладі НПП «Кам'янська Січ» із застосуванням енергетичних показників та супутникових даних.

Доповіді про повоєнне відновлення територій, як-от у Нікопольській громаді, демонстрували прагнення науковців поєднувати екологічну оцінку з управлінськими рішеннями. Водночас звучали виступи, що торкалися як глобальних, так і регіональних питань, зокрема щодо викидів парникових газів протягом повного циклу експлуатації свердловин (Kryvenko G.M.), техногенних загроз від хвостосховищ, буріння газових свердловин у прифронтових регіонах, а також забруднення ґрунтів поблизу інфраструктурних об'єктів, таких як аеропорти.

Секція завершилася обговоренням теми впливу російсько-української війни на природні ресурси країни, в якому науковці підкреслили необхідність формування державної стратегії екологічного відновлення України на основі комплексної оцінки збитків, сталого управління ресурсами та міждисциплінарного підходу.

Пленарне засідання конференції стало знаковим етапом наукового заходу, об'єднавши провідних фахівців у галузі екології, природокористування, освіти та сталого розвитку (рис. 6). У рамках засідання були представлені доповіді, що висвітлювали сучасні виклики екологічної безпеки, наслідки збройного конфлікту для довкілля, тенденції деградації ґрунтів, стан водних ресурсів, а також шляхи інтеграції екологічного підходу у державну політику та управління територіями. Особливу увагу приділено питанням міжнародної співпраці, екологічної освіти нового покоління та адаптації інструментів моніторингу і природоохоронного менеджменту до нових умов. Виступи учасників були змістовними, науково обґрунтованими, супроводжувалися презентаціями результатів досліджень, впроваджених проєктів і практичних ініціатив. Пленарне засідання дало змогу окреслити стратегічні напрямки розвитку екологічної науки в Україні, підкреслити важливість синергії між наукою, освітою, виробництвом і громадянським суспільством у подоланні екологічних викликів та забезпеченні сталого майбутнього [5].

Детальну інформацію про проведення конференцій можна знайти на сайті ННІ екології <http://ecology.karazin.ua/vidannja/>, зі збірниками конференцій можна ознайомитись на сайті репозитарію Каразінського університету <https://ekhnuir.karazin.ua/>



Рис. 6 – Представлення доповідей на XXVII Міжнародній науково-практичній конференції “Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування”

Fig. 6 – Presenting papers at XXVII International Scientific and Practical Conference “Ecology, Environmental Protection, and Balanced Nature Management: Education – Science – Production – 2025”

Список використаної літератури

1. Ecology is a priority : all-Ukrainian English-speaking student conference, march 14, 2025, Kharkiv [Electronic resource] / Ed.: N. V. Maksymenko, N. I. Cherkashyna. – Kharkiv: V. N. Karazin National University, 2025. – 142 p. (PDF) URI: <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/20978>
2. Всеукраїнська студентська та аспірантська англomовна конференція “Ecology is a priority” - Навчально-науковий інститут екології Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. *Навчально-науковий інститут екології Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна*. URL: <https://ecology.karazin.ua/news/vseukrainska-studentska-ta-aspirantska-anglomovna-konferencija-ecology-is-a-priority/> (дата звернення: 21.05.2025).
3. Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи : IV Міжнародної Інтернет-конференції, 18 квіт. 2025 р., м. Харків: тези доп. [Електронний ресурс]. – Харків : Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2025. –189 с. (PDF) URI <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/21447>
4. 18 квітня 2025 року вже традиційно відбулася IV Міжнародна інтернет-конференція «Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи» - Навчально-науковий інститут екології Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. *Навчально-науковий інститут екології Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна*. URL: <https://ecology.karazin.ua/news/18-kvitnja-2025-roku-vzhe-tradicijno-vidbulasja-iv-mizhnarodna-internet-konferencija-aktualni-problemi-formalnoi-i-neformalnoi-osviti-z-monitoringu-dovkillja-ta-zapovidnoi-spravi/> (дата звернення: 21.05.2025).
5. Відбулася XXVII Міжнародна науково-практична конференція «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2025» - Навчально-науковий інститут екології Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. *Навчально-науковий інститут екології Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна*. URL: <https://ecology.karazin.ua/news/vidbulasja-hlvii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferencija-ekologija-ohorona-navkolishnogo-seredovishha-ta-zbalansovane-prirodokoristuvannja-osvita-nauka-virobnictvo-2025/> (дата звернення: 21.05.2025)



Co-funded by the
European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or Erasmus+. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.



A. A. HRECHKO¹

Lecturer, PhD student of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management
e-mail: a.a.hrechko@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9987-2586>

S. V. BURCHENKO¹, PhD (Earth Sciences)

Associate Professor of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management
e-mail: s.burchenko@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5366-5397>

A.H. KOT¹

Senior Lecturer, PhD student of the Department of Ecology and Environmental Management
e-mail: anna.kot@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4700-2620>

¹V. N. Karazin Kharkiv National University,
4, Svobody Square, Kharkiv, 61022, Ukraine

**CONFERENCES OF THE KARAZIN INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL SCIENCES
WITH THE SUPPORT OF THE ERASMUS+ PROJECTS SUNRISE AND DOMANI**

Traditionally, three conferences were held at the Karazin Institute of Environmental Sciences in spring, namely: All-Ukrainian Student and Postgraduate English-language Conference “Ecology is a Priority”, IV International Internet Conference “Actual Problems of Formal and Non-Formal Education in Environmental Monitoring and Conservation” and XXVII International conference «Ecology, environmental protection and balanced environmental management: Education – Science – Production – 2024». The conferences are devoted to the following topics: modern environmental problems and ways to solve them, applied environmental research, environmental consequences of the Russian-Ukrainian war and ways of post-war revitalization of natural complexes. In addition, much attention is paid to the problems and prospects of nature conservation in Ukraine and the world, environmental monitoring, and formal and informal education in environmental monitoring and conservation. The highlight of this year's conferences was their holding under the auspices of two international projects: Erasmus + SUNRISE - Supporting the Next Generation of Ukrainian Scientists: Project to Enhance University Capacity and Improve Doctoral Training and DOMANI - Development of Microcredit Ecosystems in Ukraine and Mongolia for a Competitive and Sustainable Green Economy. The materials of all conferences were published in collections of abstracts, posted in the Karazin University repository, and participants received Certificates of Participation.

KEYWORDS: *international conference, all-Ukrainian conference, Erasmus+, SUNRISE project, DOMANI project, current issues, ecology, nature conservation, environmental monitoring,*

References

1. Ecology is a priority: All-Ukrainian English-speaking student conference, March 14, 2025, Kharkiv [Electronic resource] / Eds. N. V. Maksymenko, N. I. Cherkashyna. (2025). Kharkiv: V. N. Karazin National University. 142 p. (PDF). Retrieved from <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/20978>
2. V. N. Karazin Kharkiv National University, Educational and Scientific Institute of Ecology. (2025, March 14). All-Ukrainian English-speaking student and postgraduate conference “Ecology is a priority”. Retrieved May 21, 2025, from <https://ecology.karazin.ua/news/vseukrainska-studentska-ta-aspirantska-anglomovna-konferencija-ecology-is-a-priority/>
3. Topical issues of formal and non-formal environmental education and nature reserve management: IV International Internet Conference, April 18, 2025, Kharkiv: abstracts [Electronic resource]. (2025). Kharkiv: V. N. Karazin National University. 189 p. (PDF). Retrieved from <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/21447>
4. V. N. Karazin Kharkiv National University, Educational and Scientific Institute of Ecology. (2025, April 18). IV International Internet Conference “Topical Issues of Formal and Non-formal Environmental Education and Nature Reserve Management”. Retrieved May 21, 2025, from <https://ecology.karazin.ua/news/18-kvitnja-2025-roku-vzhe-tradicijno-vidbulasja-iv-mizhnarodna-internet-konferencija-aktualni-problemi-formalnoi-i-neformalnoi-osviti-z-monitoringu-dovkillja-ta-zapovidnoi-spravi/>
5. V. N. Karazin Kharkiv National University, Educational and Scientific Institute of Ecology. (2025). XXVII International Scientific and Practical Conference “Ecology, Environmental Protection and Sustainable Nature Management: Education – Science – Industry – 2025”. Retrieved May 21, 2025, from <https://ecology.karazin.ua/news/vidbulasja-hhvii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferencija-ekologija-ohorona-navkolishnogo-seredovishha-ta-zbalansovane-prirodokoristuvannja-osvita-nauka-virobnictvo-2025/>

The article was received by the editors 05.05.2025

The article is recommended for printing 07.06.2025

Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: «Екологія» є збірником наукових робіт, який включено до Переліку ВАК фахових видань, в яких можна публікувати основні результати дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора і кандидата географічних наук (спеціальності 101,103) та біологічних наук (спеціальності 091,101).

До публікації приймаються статті, які написані українською або англійською мовами згідно з правилами для авторів і отримали позитивні рекомендації рецензентів.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРІВ

Електронна версія оформляється у форматі Microsoft Word, шрифт Times New Roman, розмір 11, міжрядковий інтервал 1,0, всі поля по 2,5 см. Жирним шрифтом виділяються підзаголовки у статті; курсив допускається лише у виняткових випадках.

Ілюстрації, включаючи графіки і схеми, мають бути розміщені безпосередньо в тексті. Ілюстрації подаються чорно-білими. Скрізь, де можливо, доцільніше використовувати графіки, а не таблиці.

Орієнтація сторінок – книжкова. Вирівнювання – по ширині.

Відступ для абзацу – 1,00 см.

Для статей необхідно вказати УДК (UDC): (зліва, розмір 11), ініціали та прізвище автора, науковий ступінь, звання та посаду (розмір 11, по центру), e-mail та <https://orcid.org/> усіх співавторів, повну назву установи та її адреса (розмір 10, по центру).

Анотація має бути структурованою для експериментальних робіт, тобто обов'язково вказати:

Мета. Методи. Результати. Висновки.

Текст статті має відповідати вимогам ВАК. Посилання на джерела у статті давати в прямокутних дужках [] із зазначенням номера в порядку посилання у тексті, а в окремих випадках і сторінок.

Список використаної літератури обов'язково оформляється за ДСТУ 8302:2015, обов'язково містити (50%) джерела, що опубліковані не більше 5 років тому: розмір 10, міжрядковий інтервал 1,0. Кількість посилань має бути не менше 15. Обов'язково вказувати DOI або URL-електронну адресу посилань.

Через 2 інтервали також подати прізвище, науковий ступінь, наукове звання та посаду, e-mail та <https://orcid.org/>, організацію, її повну адресу, назву статті, розширену анотацію та ключові слова *англійською мовою*: розмір 10, міжрядковий інтервал 1,0. Анотація повинна бути побудована як реферат у реферативних журналах та відражати суть експериментів, основні результати та їх інтерпретацію. Для експериментальних статей подати структуровані резюме де має бути вказані слова: **Purpose. Methods. Result. Conclusion.**; та **KEY WORDS** (ключові слова) – 5-6 слів

Подати також **References**, за стандартом APA (прізвище, ініціали, назва - англійською, та **Retrieved from** або DOI, наприкінці у дужках (In Ukrainian)

Адреса редакції: навчально-науковий інститут екології, 4 поверх, к. 483а,

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,

пл. Свободи, 6, Харків, Україна, 61022

тел. +38-057- 707-53-86 e-mail: visnykecology@karazin.ua

ecology.journal@karazin.ua

Web-page: <http://periodicals.karazin.ua/ecology> (OJS)

Наукове видання

**ВІСНИК ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
імені В. Н. КАРАЗІНА**

**СЕРІЯ «ЕКОЛОГІЯ»
Вип. 32**

Збірник наукових праць

Українською та англійською мовами

Макетування та комп'ютерне верстання
Баскакова Л. В.

Підписано до друку 30.06.2025 Формат 60 x 84 ¹/₈ . Папір офсетний.
Друк ризографічний

Ум. друк. арк. 15,3. Обл.-вид. арк. 17,1
Наклад 50 пр. Зам. № 3/25

61022 Харків, майдан Свободи, 6
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Надруковано ХНУ імені В. Н. Каразіна
61022, Харків, майдан Свободи, 4.
Тел. 705-24-32
Видавництво

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.09