

ВІСНИК

Національного університету
водного господарства та
природокористування

ISSN 2306-5478

В И П У С К 1(113)

<https://doi.org/10.31713/vs120260>

Заснований
у 1999 р.

Збірник наукових праць
затверджений
Наказом Міністерства освіти і науки
України № 1188
від 04 вересня 2020 р. категорія «Б»
спеціальності – 101, 201

Мова видання: українська,
англійська, польська

Періодичність: 4 рази на рік

Статті у виданні перевірені на
наявність плагіату за допомогою
програмного забезпечення
StrikePlagiarism.com від польської
компанії Plagiat.pl

Адреса видавництва:
НУВГП,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028

Телефон: (0362)63-57-31

Збірник наукових праць

Серія
«Сільськогосподарські
науки»

У збірнику опубліковані наукові статті з екології, сільськогосподарських меліорацій (сільськогосподарські науки), агрогрунтознавства та агрофізики, раціонального використання природних ресурсів, водних біоресурсів. Призначений для наукових працівників, інженерів, аспірантів та студентів навчальних закладів.

Засновник та видавець: Національний університет водного господарства та природокористування (ЄДРПОУ 02071116)

Головний редактор: Мошинський В. С., д.с.-г.н., професор, ректор.

Заступник головного редактора: Савіна Н. Б., д.е.н., професор, проректор з наукової роботи та міжнародних зв'язків.

Відповідальний секретар: Вознюк Н. М., к.с.-г.н., професор, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства.

Редакційна колегія:

Клименко М. О., д.с.-г.н., професор, завідувач кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства (НУВГП, Рівне)

Прищепя А. М., д.с.-г.н., професор, директор навчально-наукового інституту агроекології та землеустрою (НУВГП, Рівне)

Лико Д. В., д.с.-г.н., професор, завідувач кафедри екології, географії та туризму (Рівненський державний гуманітарний університет, Рівне)

Польовий В. М., д.с.-г.н., професор, академік НААН України, професор кафедри агрохімії, ґрунтознавства та землеробства (НУВГП, Рівне)

Скрипчук П. М., д.е.н., професор, професор кафедри менеджменту (НУВГП, Рівне)

Гриб Й. В., д.б.н., професор, професор кафедри водних біоресурсів (НУВГП, Рівне)

Клименко О. М., д.с.-г.н., професор, професор кафедри туризму та готельно-ресторанної справи (НУВГП, Рівне)

Бєдункова О. О., д.б.н., професор, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства (НУВГП, Рівне)

Гроховська Ю. Р., д.с.-г.н., професор, професор кафедри водних біоресурсів (НУВГП, Рівне)

Лисиця А. В., д.б.н., професор, професор кафедри екології, географії та туризму (Рівненський державний гуманітарний університет, Рівне)

Мудрак О. В., д.с.-г.н., професор, завідувач кафедри екології, природничих та математичних наук (Комунальний вищий навчальний заклад «Вінницька академія неперервної освіти» (м. Вінниця)

Вознюк Н. М., к.с.-г.н., професор, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства (НУВГП, Рівне)

Ковальчук Н. С., к.с.-г.н., доцент, доцент кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства (НУВГП, Рівне)

Ліхо О. А., к.с.-г.н., доцент, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства (НУВГП, Рівне)

Личук Тарас, Міністерство сільського господарства Канади, головний науковий співробітник, керівник дослідницької програми точного землеробства, Ph.D (Оттава, Канада)

Панасюк Даміан, доктор філософії (Wydział Inżynierii Środowiska), професор факультету біології та екології, Університет кардинала Стефана Вишинського (м. Варшава, Польща)

Опубліковані статті пройшли рецензування

Матеріали збірника розглянуто і рекомендовано до видання
Вченою радою університету 27 березня 2026 р., протокол № 3.
Ідентифікатор медіа: R30-05354

Адреса видавництва: 33028, м. Рівне, вул. Соборна, 11, НУВГП
© Національний університет водного господарства та природокористування, 2026
<https://visnyk.nuwm.edu.ua/index.php/agri>

BULLETIN
NATIONAL UNIVERSITY OF
WATER AND ENVIRONMENTAL
ENGINEERING

ISSN 2306-5478
VOLUME 1(113)

<https://doi.org/10.31713/vs120260>

Founded
In 1999

The given Collection of Scientific Papers
is approved by the Decree of the
Ministry of Education and Science of
Ukraine # 1188 dated September
4, 2020, category "B" (majors: 101, 201)

Publication language: Ukrainian,
English, Polish

Frequency: Four issues per year

The articles in this publication have
been checked for plagiarism using
StrikePlagiarism.com software
developed by the Polish company
Plagiat.pl

Publisher's Address:
33028 Rivne, Soborna st., 11, NUWEE

Tel: (0362)63-57-31

Collection of Scientific Papers

Series
«Agricultural
Sciences»

The collection contains scientific papers on ecology, agricultural reclamation (agricultural sciences), agricultural soil science and agrophysics, rational use of natural resources and water bioresources. The given Bulletin is designed for scientists, engineers, graduate students and undergraduate students of educational establishments.

Founder and Publisher: National University of Water and Environmental Engineering
(EDRPOU 02071116)

Senior Editor: Moshynskiy V. S., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Rector.

Deputy Editor: Savina N. B., Doctor of Economics, Professor, Vice-Rector for Research and International Relations.

Executive Secretary: Vozniuk N. M., Candidate of Agricultural Sciences, Professor, Professor of Ecology, Technologies of Environmental Protection and Forestry Department.

Scientific Editorial Board:

Klymenko M. O., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of Ecology, Technologies of Environmental Protection and Forestry Department (NUWEE, Rivne)

Pryshchepa A. M., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Director of Institute of Agroecology and Land Management (NUWEE, Rivne)

Lyko D. V., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of Ecology, Geography and Tourism Department (Rivne State University of the Humanities)

Polovyi V. M., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of NAAS of Ukraine, Professor of Agrochemistry, Soil Science and Agriculture Department (NUWEE, Rivne)

Skrypchuk P. M., Doctor of Economics, Professor, Professor of Management Department (NUWEE, Rivne)

Hryb Y. V., Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of Water Bioresources Department (NUWEE, Rivne)

Klymenko O. M., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of Tourism and Hotel and Restaurant Business Department (NUWEE, Rivne)

Biedunkova O. O., Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of Ecology, Technologies of Environmental Protection and Forestry Department (NUWEE, Rivne)

Hrokhovska Y. R., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of Water Bioresources Department (NUWEE, Rivne)

Lysytsia A. V., Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of Ecology, Geography and Tourism Department (Rivne State University of the Humanities)

Mudrak O. V., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology, Natural and Mathematical Sciences (Municipal Higher Educational Institution «Vinnytsia Academy of Continuing Education») (Vinnytsia)

Vozniuk N. M., Candidate of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Ecology, Technologies of Environmental Protection and Forestry (NUWEE, Rivne)

Kovalchuk N. S., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of Ecology, Technologies of Environmental Protection and Forestry Department (NUWEE, Rivne)

Likho O. A., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of Ecology, Technologies of Environmental Protection and Forestry Department (NUWEE, Rivne)

Lychuk Taras, Department of Agriculture of Canada, chief researcher, head of the research program of precision agriculture, Ph.D (Ottawa, Canada)

Panasiuk Damian, Doctor of Philosophy, Professor of Biology and Environmental Sciences Faculty, Cardinal Stefan Wyszyński University in Warsaw (Warsaw, Poland)

All papers have been reviewed and accepted for publication

All papers have been reviewed and accepted for publication
by the Academic Council of the University on March 27, 2026,
Academic Council Meeting Minutes #3.
Media identifier: R30-05354

Publisher's Address: 33028, Rivne, Soborna st., 11, NUWEE
© National University of Water and Environmental Engineering, 2026
<https://visnyk.nuwm.edu.ua/index.php/agri>

Breus D. S. [1: ORCID ID: 0000-0001-7238-518],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor

¹*Kherson State Agricultural and Economic University, Kherson*

INTEGRATED BIOINDICATION-BASED ASSESSMENT OF NATURAL AND TECHNOGENIC SAFETY OF AQUATIC ECOSYSTEMS (CASE STUDY OF THE UPPER KANIV RESERVOIR)

The intensification of anthropogenic and technogenic pressure on aquatic ecosystems necessitates the improvement of methodological approaches to assessing their environmental safety, stability, and self-recovery capacity. This issue is particularly relevant for reservoirs operating under conditions of regulated flow, intensive water use, nutrient input, organic pollution, and the influence of urbanized areas. The article presents a comprehensive bioindication-based assessment of the qualitative and quantitative components of natural and technogenic safety of aquatic ecosystems, using the upper section of the Kaniv Reservoir as a case study.

The methodological framework of the study is based on the integration of hydroecological potential assessment, phytoplankton-based bioindication, and elements of statistical modeling. The study considers species composition, diversity level, dominance of individual taxa, species richness, and the response of phytoplankton communities to changes in environmental conditions.

The obtained results indicate that phytoplankton communities are sensitive indicators of anthropogenic transformation of aquatic ecosystems and are capable of reflecting changes in trophic status, organic pollution levels, ecological stability, and resilience of water bodies. Establishing the relationship between hydroecological potential and bioindication parameters enhances the objectivity of environmental monitoring and enables the early detection of ecosystem degradation processes.

The proposed approach contributes to the development of an integrated system for assessing the natural and technogenic safety of aquatic ecosystems by combining biological, hydroecological, and analytical criteria. Its application can be useful for improving surface water monitoring, substantiating environmental protection measures, and forming a scientific basis for sustainable water resource management under increasing technogenic pressure.

Keywords: aquatic ecosystems; environmental safety; hydroecological

potential; bioindication; phytoplankton; anthropogenic impact; ecosystem assessment.

Problem statement. The environmental safety of aquatic ecosystems has become a central issue in contemporary ecological research, particularly in the context of accelerating anthropogenic transformation of natural environments. Aquatic systems are increasingly exposed to complex and multifactorial pressures, including industrial discharges, agricultural runoff, urban wastewater inputs, and hydromorphological alterations. These factors act simultaneously and often synergistically, leading to profound changes in the structure, functioning, and resilience of hydrological systems.

Under conditions of sustained technogenic load, aquatic ecosystems experience a gradual decline in their capacity for self-regulation and natural purification. This results in the disruption of biogeochemical cycles, deterioration of water quality, and simplification of biological communities. One of the most critical consequences of such transformations is the loss of ecosystem stability, which manifests through reduced biodiversity, altered trophic interactions, and increased vulnerability to external disturbances.

Traditional approaches to water quality assessment, primarily based on hydrochemical indicators, are limited in their ability to capture the complexity of ecosystem responses. While these methods provide valuable information on the concentration of individual pollutants, they do not adequately reflect cumulative, long-term, and synergistic effects of multiple stressors. As a result, there is a growing need for integrated assessment frameworks that incorporate both abiotic and biotic components of aquatic ecosystems.

In this context, the concept of natural and technogenic safety of aquatic ecosystems is increasingly recognized as a key theoretical and practical construct. It is defined as the ability of a system to maintain its structural integrity and functional performance under external anthropogenic pressure without crossing critical ecological thresholds. A central element of this concept is the hydroecological potential, which characterizes the permissible level of environmental load that an ecosystem can sustain while preserving its stability and self-recovery capacity.

Biological indicators, particularly phytoplankton communities, play a crucial role in the development of such integrated assessment approaches. Due to their rapid response to environmental changes, high sensitivity to nutrient enrichment and pollution, and fundamental role in

primary production, phytoplankton serves as effective indicators of ecosystem condition. Changes in their species composition, abundance, and diversity provide valuable insights into the direction and intensity of ecological transformations.

Therefore, the development of scientifically grounded methodologies that integrate hydroecological potential assessment with bioindication analysis represents an important and relevant research direction. Such approaches enable a more comprehensive evaluation of ecosystem safety and provide a reliable basis for environmental monitoring and sustainable water resource management.

Analysis of recent research. The environmental safety of aquatic ecosystems has become a central issue in contemporary ecological research, particularly under conditions of increasing anthropogenic transformation of natural environments. Aquatic systems are exposed to complex combinations of chemical, biological, and physical stressors, which interact nonlinearly and lead to significant alterations in ecosystem structure and functioning.

From a systems theory perspective, an aquatic ecosystem can be represented as a complex dynamic system:

$$S = \{X, Q\}, \quad (1)$$

where $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ – represents the set of ecosystem components (physical, chemical, and biological); Q – denotes the set of interactions and transformation processes between these components.

Such a representation emphasizes that ecosystem behavior is determined not only by the state of individual elements but also by the relationships between them. Under anthropogenic influence, these relationships are modified, leading to structural and functional transformations.

A more detailed representation of a natural-technogenic aquatic ecosystem can be expressed as:

$$S = Z \cdot Q \cdot W, \quad (2)$$

where Z – the natural subsystem; W – the technogenic (anthropogenic) subsystem; Q – defines the interactions between them.

This formulation reflects the dual nature of modern aquatic ecosystems, which function as hybrid systems combining natural processes and human-induced impacts.

The state of the system evolves in space and time according to the following dependencies:

$$X = X(t,h); F = F(t,h); R = R(t,h), \quad (3)$$

where X – represents the set of internal components of the aquatic ecosystem, including physical, chemical, and biological parameters (such as temperature, dissolved oxygen, nutrient concentrations, and biological communities); F – denotes the set of external influencing factors, including both natural and anthropogenic drivers (such as climatic conditions, hydrological regime, pollutant inputs, and human activities); R – characterizes the system of relationships and interactions between ecosystem components, including trophic interactions, biochemical processes, and feedback mechanisms within the ecosystem; t – the temporal variable reflecting seasonal and long-term changes; h – the spatial variable representing heterogeneity within the aquatic system.

This representation emphasizes that the ecological state of an aquatic system is determined not only by the composition of its components but also by external forcing and the structure of internal interactions.

The component composition and spatiotemporal structure of a natural-technogenic aquatic ecosystem undergo changes according to a specific functional dependence $M(t, h)$. Therefore, from the standpoint of mathematical formalization, such an ecosystem can be considered as a system formed by a set of internal components that interact with each other and are in continuous connection with the surrounding environment. A generalized representation of the formalized model of a natural-technogenic aquatic ecosystem is shown in Figure 1.

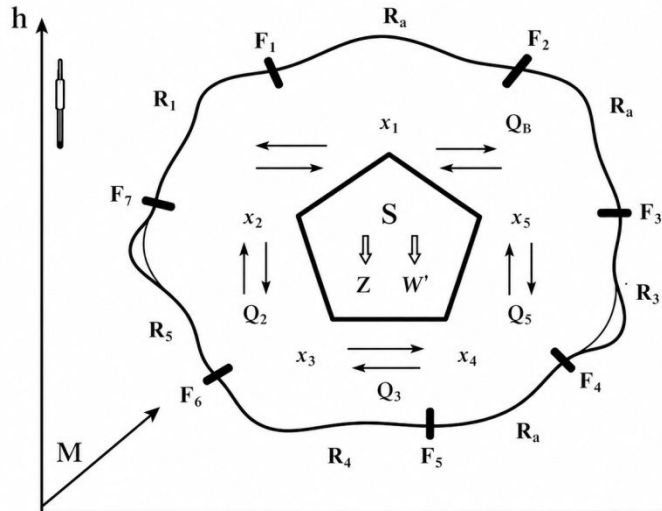


Figure 1. Formalized model of a natural-technogenic aquatic ecosystem

Under prolonged anthropogenic pressure, the system may approach critical thresholds beyond which irreversible changes occur. In this context, the concept of hydroecological potential becomes essential, as it characterizes the capacity of the ecosystem to maintain stability and resist external disturbances.

Traditional hydrochemical approaches are insufficient for capturing such complex system behavior, as they focus on individual parameters rather than system-level interactions. Therefore, there is a need for integrated methodologies that combine system modeling with biological indicators.

Phytoplankton communities, due to their sensitivity to environmental changes and their role in primary production, serve as effective indicators of ecosystem state. Their structural characteristics provide insight into the direction and intensity of ecosystem transformations.

Thus, the integration of system-based formalization with bioindication approaches represents a promising direction for assessing the natural and technogenic safety of aquatic ecosystems.

Aim, objectives and methodology. The aim of this study is to establish a quantitative relationship between hydroecological potential and phytoplankton characteristics in a technogenically influenced aquatic ecosystem.

The methodological approach is based on the integration of

bioindication and hydroecological assessment, complemented by statistical analysis.

The evaluation of biodiversity was carried out using classical ecological indices. The Shannon diversity index was calculated as:

$$H = -\sum\left(\frac{n}{N} \log \frac{n}{N}\right), \quad (4)$$

where n – the number of individuals of a given species; N – the total number of individuals.

Species richness was determined using the Menhinick index:

$$M = \frac{A}{\sqrt{N}}, \quad (5)$$

where A – the number of species.

The dominance structure of phytoplankton communities was assessed using the Simpson index:

$$C = \sum\left(\frac{n}{N}\right)^2. \quad (6)$$

Additionally, the saprobity index was applied to evaluate organic pollution levels:

$$S = \frac{\sum(s \cdot h)}{\sum h}, \quad (7)$$

where s – the saprobity value of species and h is its relative abundance.

To interpret the results, classification of water quality based on saprobity was used, which is presented in Table 1.

The hydroecological potential was calculated as an integral indicator combining hydrochemical and biological parameters. The relationship between phytoplankton characteristics and hydroecological potential was analyzed using correlation-regression methods.

Table 1

Water quality classification based on Saprobity Index

Saprobity Index	Zone	Water quality class
0.0–0.5	Xenosaprobic	Very clean
0.51–1.5	Oligosaprobic	Clean

Continuation of the table 1

1.51–2.5	β -mesosaprobic	Moderately polluted
2.51–3.5	α -mesosaprobic	Polluted
3.51–4.0	Polysaprobic	Heavily polluted

Results and discussion. The ecological state of the upper section of the Kaniv Reservoir was assessed through a combination of hydrochemical indicators, bioindication parameters, and integrated hydroecological potential evaluation. The obtained results reflect a complex interaction between anthropogenic load and internal ecosystem processes, which is expressed in both chemical transformations and structural changes of biological communities.

Hydrochemical analysis indicates that the studied water body is characterized by increased concentrations of biogenic elements, primarily nitrogen and phosphorus compounds, which act as key drivers of eutrophication. Periodic fluctuations in dissolved oxygen and elevated biochemical oxygen demand confirm the presence of organic pollution and active decomposition processes. These conditions create a favorable environment for intensive phytoplankton development, which, in turn, significantly affects ecosystem functioning.

The biological analysis revealed that phytoplankton communities are dominated by species typical for mesotrophic and eutrophic water bodies. The structure of these communities demonstrates a tendency toward reduced diversity and increased dominance of individual taxa, which is a characteristic feature of ecosystems subjected to prolonged anthropogenic pressure.

The calculated biodiversity indices are presented in Table 2.

Table 2

Biodiversity Indices of Phytoplankton Communities

Sampling Site	Shannon Index (H)	Simpson Index (C)	Menhinick Index (M)
Site 1	2.3	0.21	1.8
Site 2	2.1	0.27	1.6
Site 3	1.9	0.34	1.4

The obtained values indicate a moderate level of species diversity, with a clear trend toward increasing dominance of individual species. A decrease in Shannon index values from Site 1 to Site 3 corresponds to a growing anthropogenic influence and increasing environmental stress.

At the same time, the increase in Simpson index values reflects the intensification of dominance by pollution-tolerant species, which is a typical indicator of ecosystem degradation. The Menhinick index demonstrates a gradual decline in species richness, confirming the process of structural simplification of phytoplankton communities.

The ecological interpretation of these results suggests that the studied ecosystem is undergoing a transition from a relatively stable state toward a disturbed condition characterized by reduced resilience and increased sensitivity to external impacts.

The assessment of organic pollution using the saprobity index further supports this conclusion. The calculated values fall within the range corresponding to β -mesosaprobic conditions, indicating a moderate level of organic contamination. This classification is consistent with hydrochemical data and reflects the cumulative impact of anthropogenic factors.

The hydroecological potential (HEP) was calculated as an integral indicator representing the functional capacity of the ecosystem. The obtained values are presented in Table 3.

Table 3

Hydroecological Potential Values

Sampling Site	HEP Value	Ecological Interpretation
Site 1	0.72	Relatively stable
Site 2	0.65	Moderately disturbed
Site 3	0.58	Ecologically stressed

The spatial distribution of HEP values demonstrates a gradual decline in ecosystem stability along the studied section of the reservoir. Higher values correspond to areas with greater biological diversity and more balanced community structure, while lower values are associated with zones of increased anthropogenic pressure.

A comparative analysis of Tables 2 and 3 reveals a clear relationship between biodiversity parameters and hydroecological potential. Areas characterized by higher Shannon index values exhibit higher HEP values, indicating that biodiversity plays a crucial role in maintaining ecosystem stability.

To quantify this relationship, a correlation analysis was performed. The results show a strong positive correlation between HEP and Shannon index ($r \approx 0.82$) and a negative correlation with Simpson index ($r \approx -0.76$). This indicates that increasing dominance and decreasing diversity are directly associated with reduced ecosystem safety.

Based on these results, a regression model describing the dependence of hydroecological potential on phytoplankton characteristics was developed:

$$HEP = a + bH - cC + dM$$

where H – the Shannon diversity index, reflecting species diversity and structural complexity of the phytoplankton community; C – the Simpson dominance index, characterizing the degree of dominance of individual species within the community; M – the Menhinick index, representing species richness relative to total abundance; a – the intercept (constant term), reflecting the baseline level of hydroecological potential in the absence of variability in biological indicators; b , c , and d – regression coefficients that quantify the contribution of each respective variable to the overall hydroecological potential.

The signs and magnitudes of the regression coefficients have clear ecological interpretation. The positive coefficient b indicates that increasing species diversity contributes positively to ecosystem stability and enhances hydroecological potential. Conversely, the negative coefficient c reflects the adverse effect of species dominance, as higher dominance reduces ecosystem resilience. The positive coefficient d suggests that greater species richness is associated with improved ecological balance and functional capacity.

Graphically, this conceptual relationship can be interpreted as a multidimensional surface where hydroecological potential increases with biodiversity and decreases with dominance. In simplified form, this dependence can be represented as a rising curve with respect to diversity and a declining curve with respect to dominance (Figure 2).

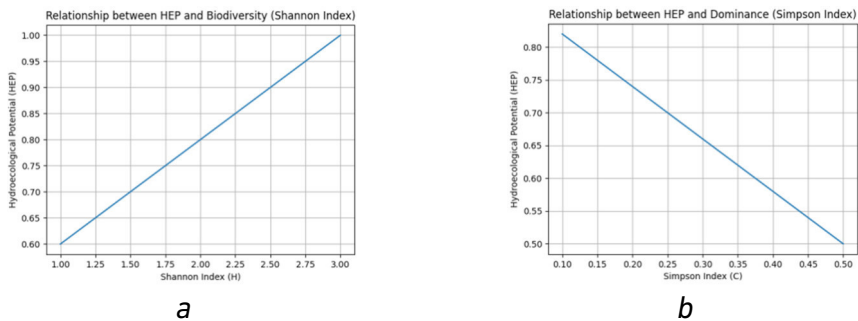


Figure 2. Relationship between hydroecological potential (HEP) and phytoplankton diversity (a) and phytoplankton dominance (b)

From an ecological perspective, this reflects fundamental principles of ecosystem functioning. High biodiversity enhances functional redundancy and resilience, allowing the system to maintain stability

under stress conditions. Conversely, dominance of a limited number of species reduces ecosystem adaptability and increases vulnerability to disturbances.

The obtained results are consistent with modern ecological theories, particularly the concept of ecosystem resilience and the ecosystem-based approach. The observed transformations indicate that the studied water body is approaching a threshold beyond which further degradation may lead to irreversible changes in ecosystem structure.

An important aspect of the study is the confirmation that bioindication methods provide a more integrated and sensitive assessment of ecosystem condition compared to traditional hydrochemical approaches. While chemical indicators reflect instantaneous conditions, biological communities integrate the effects of environmental changes over time.

Thus, the combination of hydroecological potential assessment and bioindication analysis represents an effective tool for evaluating natural and technogenic safety of aquatic ecosystems.

Conclusions. 1. The conducted study confirms that anthropogenic pressure significantly affects both structural and functional characteristics of aquatic ecosystems. The upper section of the Kaniv Reservoir demonstrates clear signs of ecological transformation, including eutrophication processes, reduced biodiversity, and increased dominance of pollution-tolerant species.

2. Phytoplankton communities have been shown to be reliable indicators of ecosystem state, reflecting cumulative environmental changes and providing a basis for integrated assessment. The calculated biodiversity indices reveal a trend toward structural simplification, which is associated with decreased ecosystem resilience.

3. The hydroecological potential index has proven to be an effective integral indicator of ecosystem safety, reflecting both the assimilation capacity and stability of the aquatic environment. The established relationship between hydroecological potential and phytoplankton characteristics confirms the importance of biological indicators in environmental assessment.

4. The developed regression model provides a quantitative tool for predicting ecosystem condition based on bioindication parameters. This approach enhances the scientific basis for environmental monitoring and can be applied in water management practices.

5. Overall, the proposed integrated methodology contributes to improving the assessment of natural and technogenic safety of aquatic ecosystems and supports the implementation of sustainable water

resource management strategies.

1. Davydov O. A., Shcherbak V. I., Semeniuk N. Ye., Koziychuk E. Sh. Taxonomic composition of phytoplankton in various continental aquatic hydroecosystems of Ukraine. *Algologia*. 2024. Vol. 34, № 4. P. 273–293. <https://doi.org/10.15407/alg34.04.273>.
2. Novoselova T., Barinova S., Protasov A. Phytoplankton Indicators in the Assessment of the Ecological Status of Two Reservoirs with Different Purposes in Southern Ukraine. *Ecologies*. 2022. Vol. 3, № 2. P. 96–119. <https://doi.org/10.3390/ecologies3020009>.
3. Tekebayeva Z., Bazarkhankyzy A., Temirbekova A., Rakhymzhan Z., Kulzhanova K., Beisenova R., Kulagin A., Askarova N., Yevneyeva D., Temirkhanov A., Abzhalelov A. Ecological Assessment of Phytoplankton Diversity and Water Quality to Ensure the Sustainability of the Ecosystem in Lake Maybalyk, Astana, Kazakhstan. *Sustainability*. 2024. Vol. 16, № 22. Article 9628. <https://doi.org/10.3390/su16229628>.
4. Bou E., Mouth C., Bernard A. et al. Phytoplankton and zooplankton in relation to Water Framework Directive status in some regulated lowland watercourses of the Scheldt and Sambre (France and Belgium). *Hydrobiologia*. 2025. Vol. 852. P. 3633–3659. <https://doi.org/10.1007/s10750-025-05834-0>.
5. Ugya A. Y., Yan C., Chen H., Wang Q. Unravelling the eco-monitoring potential of phytoplankton towards a sustainable aquatic ecosystem. *Marine Pollution Bulletin*. 2025. Vol. 216. Article 118021. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118021>.
6. Chandel P., Mahajan D., Thakur K., Kumar R., Kumar S., Brar B., Sharma D., Sharma A. K. A review on plankton as a bioindicator: a promising tool for monitoring water quality. *World Water Policy*. 2023. Vol. 10, № 1. P. 213–232. <https://doi.org/10.1002/wwp2.12137>.
7. Essa D. I., Elshobary M. E. et al. Assessing phytoplankton populations and their relation to water parameters as early alerts and biological indicators of the aquatic pollution. *Ecological Indicators*. 2024. Vol. 159. Article 111721. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111721>.
8. Flores-Gómez V. S., Villanueva Quispe C., Arpasi Ordoño D., da Costa A. B., Lobo E. A. Phytoplankton in lake water quality assessment: a review of scientific literature based on bibliometric and network techniques. *Acta Limnologica Brasiliensia*. 2024. Vol. 36. Article e35. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X0924>.
9. Phonmat P., Chaichana R., Rakasachat C., Klongvessa P., Chanthorn W., Moukomla S. Comparative evaluation of phytoplankton-based indices for water quality assessment in tropical lentic ecosystems of Thailand. *Journal of Ecological Engineering*. 2025. Vol. 26. P. 1–13.
10. Water quality assessment of lentic ecosystems in the Eastern Mediterranean River Basin using multivariate and biological approaches. *Sustainable Water Resources Management*. 2026. Vol. 12. Article 26. <https://doi.org/10.1007/s40899-026-01329-5>.
11. Copetti D., et al. A bibliometric review on the Water Framework Directive twenty years after its adoption. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023.
12. European Environment Agency. Water Framework Directive – Quality Elements. 2024.

REFERENCES:

1. Davydov O. A., Shcherbak V. I., Semeniuk N. Ye., Koziychuk E. Sh. Taxonomic composition of phytoplankton in various continental aquatic hydroecosystems of Ukraine. *Algologia*. 2024. Vol. 34, № 4. P. 273–293. <https://doi.org/10.15407/alg34.04.273>.
2. Novoselova T., Barinova S., Protasov A. Phytoplankton Indicators in the Assessment of the Ecological Status of Two Reservoirs with Different Purposes in Southern Ukraine. *Ecologies*. 2022. Vol. 3, № 2. P. 96–119.

<https://doi.org/10.3390/ecologies3020009>. **3.** Tekebayeva Z., Bazarkhankyzy A., Temirbekova A., Rakhymzhan Z., Kulzhanova K., Beisenova R., Kulagin A., Askarova N., Yevneyeva D., Temirkhanov A., Abzhalelov A. Ecological Assessment of Phytoplankton Diversity and Water Quality to Ensure the Sustainability of the Ecosystem in Lake Maybalyk, Astana, Kazakhstan. *Sustainability*. 2024. Vol. 16, № 22. Article 9628. <https://doi.org/10.3390/su16229628>. **4.** Bou E., Mouth C., Bernard A. et al. Phytoplankton and zooplankton in relation to Water Framework Directive status in some regulated lowland watercourses of the Scheldt and Sambre (France and Belgium). *Hydrobiologia*. 2025. Vol. 852. P. 3633–3659. <https://doi.org/10.1007/s10750-025-05834-0>. **5.** Ugya A. Y., Yan C., Chen H., Wang Q. Unravelling the eco-monitoring potential of phytoplankton towards a sustainable aquatic ecosystem. *Marine Pollution Bulletin*. 2025. Vol. 216. Article 118021. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118021>. **6.** Chandel P., Mahajan D., Thakur K., Kumar R., Kumar S., Brar B., Sharma D., Sharma A. K. A review on plankton as a bioindicator: a promising tool for monitoring water quality. *World Water Policy*. 2023. Vol. 10, № 1. P. 213–232. <https://doi.org/10.1002/wwp2.12137>. **7.** Essa D. I., Elshobary M. E. et al. Assessing phytoplankton populations and their relation to water parameters as early alerts and biological indicators of the aquatic pollution. *Ecological Indicators*. 2024. Vol. 159. Article 111721. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111721>. **8.** Flores-Gómez V. S., Villanueva Quispe C., Arpasí Ordoño D., da Costa A. B., Lobo E. A. Phytoplankton in lake water quality assessment: a review of scientific literature based on bibliometric and network techniques. *Acta Limnologica Brasiliensia*. 2024. Vol. 36. Article e35. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X0924>. **9.** Phonmat P., Chaichana R., Rakasachat C., Kloungvessa P., Chanthorn W., Moukomla S. Comparative evaluation of phytoplankton-based indices for water quality assessment in tropical lentic ecosystems of Thailand. *Journal of Ecological Engineering*. 2025. Vol. 26. P. 1–13. **10.** Water quality assessment of lentic ecosystems in the Eastern Mediterranean River Basin using multivariate and biological approaches. *Sustainable Water Resources Management*. 2026. Vol. 12. Article 26. <https://doi.org/10.1007/s40899-026-01329-5>. **11.** Copetti D., et al. A bibliometric review on the Water Framework Directive twenty years after its adoption. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. **12.** European Environment Agency. Water Framework Directive – Quality Elements. 2024.

Бреус Д. С. [1: ORCID ID: 0000-0001-7238-518],

К.С.-Г.Н., доцент

¹Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон

ІНТЕГРОВАНА БІОІНДИКАЦІЙНА ОЦІНКА ПРИРОДНОЇ ТА ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ (НА ПРИКЛАДІ ВЕРХЬОГО КАНІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА)

Посилення антропогенного та техногенного навантаження на водні екосистеми зумовлює необхідність удосконалення методичних підходів до оцінювання їх екологічної безпеки, стійкості та здатності до самовідновлення. Особливої актуальності ця проблема набуває для водосховищ, які функціонують в умовах зарегульованого стоку, інтенсивного водокористування, надходження біогенних речовин,

органічного забруднення та впливу урбанізованих територій. У статті представлено комплексну біоіндикаційну оцінку якісної та кількісної складових природно-техногенної безпеки водних екосистем на прикладі верхньої ділянки Канівського водосховища.

Методологічну основу дослідження становить поєднання оцінювання гідроекологічного потенціалу, біоіндикаційного аналізу за показниками фітопланктону та елементів статистичного моделювання. У межах дослідження враховано видовий склад, рівень різноманіття, домінування окремих таксонів, видове багатство та реакцію фітопланктону на зміну умов водного середовища.

Отримані результати свідчать, що фітопланктонні угруповання є чутливими індикаторами антропогенної трансформації водних екосистем і здатні відображати зміни трофічного стану, рівня органічного забруднення, екологічної стійкості та резильєнтності водойми. Встановлення зв'язку між гідроекологічним потенціалом і біоіндикаційними параметрами дає змогу підвищити об'єктивність екологічного моніторингу та виявляти ознаки деградаційних процесів на ранніх етапах.

Запропонований підхід сприяє розвитку інтегрованої системи оцінювання природно-техногенної безпеки водних екосистем, поєднуючи біологічні, гідроекологічні та аналітичні критерії. Його використання може бути корисним для вдосконалення моніторингу поверхневих вод, обґрунтування природоохоронних заходів і формування наукових засад сталого управління водними ресурсами в умовах зростаючого техногенного навантаження.

Ключові слова: водні екосистеми; екологічна безпека; гідроекологічний потенціал; біоіндикація; фітопланктон; антропогенний вплив; оцінка екосистеми.

Отримано / Received: 10.02.2026

Прийнято до друку / Accepted: 03.03.2026

Опубліковано / Published: 27.03.2026



© 2026 [Breus D. S.]. Licensee {NUWEE}. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license ([creativecommons.org](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/))

УДК 631.147:502.131.1;330.15

<https://doi.org/10.31713/vs120262>

Валерко Р. А. [1; ORCID ID: 0000-0003-4716-0100],

Д.С.-Г.Н., доцент

¹Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир

ОЦІНКА ВНЕСКУ ОРГАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА У ДОСЯГНЕННІ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

У статті запропоновано методичний підхід до інтегральної оцінки внеску органічного виробництва у досягнення Цілей сталого розвитку на основі системи показників та інтегрального індексу. Проведено оцінювання впливу органічного виробництва на ключові Цілі сталого розвитку, зокрема у сферах продовольчої безпеки, охорони здоров'я, водних ресурсів, сталого виробництва, клімату та екосистем. Встановлено, що інтегральний показник становить 2,83, що свідчить про високий рівень впливу. Найбільш значущий ефект спостерігається у підвищенні якості продукції, зниженні екологічного навантаження та збереженні біорізноманіття. Доведено ефективність органічного виробництва як інструменту екологічної безпеки та сталого розвитку. Запропонований підхід може бути використаний у державній політиці та практиці управління.

Ключові слова: органічне виробництво; сталий розвиток; Цілі сталого розвитку; інтегральна оцінка; екологічна безпека; аграрний сектор.

Постановка проблеми. У XXI столітті людство стикається з комплексом глобальних екологічних проблем, серед яких деградація ґрунтів, зменшення біорізноманіття, забруднення водних ресурсів, зміна клімату та виснаження природних ресурсів. Аграрний сектор, як один із ключових елементів економіки, водночас є значним джерелом антропогенного навантаження на довкілля, зокрема через інтенсивне використання мінеральних добрив, пестицидів та агрохімікатів [1]. Традиційні моделі ведення сільського господарства дедалі більше виявляють свою екологічну нестійкість, що зумовлює необхідність пошуку альтернативних, екологічно орієнтованих підходів.

Одним із таких підходів є органічне виробництво, яке ґрунтується на принципах природоорієнтованого землеробства, раціонального використання ресурсів, збереження родючості ґрунтів та мінімізації негативного впливу на довкілля [2]. На відміну від інтенсивного агровиробництва, органічне господарювання передбачає відмову від синтетичних добрив і пестицидів, що сприяє відновленню

екосистемних функцій та підвищенню екологічної безпеки територій [3].

Крім того, у контексті післявоєнного відновлення України органічне виробництво може відігравати важливу роль у відновленні деградованих земель, зменшенні техногенного навантаження та формуванні екологічно безпечних агросистем. Впровадження органічних практик сприятиме відновленню родючості ґрунтів, зниженню рівня забруднення та підвищенню стійкості аграрного сектору до зовнішніх викликів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасних наукових дослідженнях органічне виробництво розглядається як один із ключових інструментів реалізації концепції сталого розвитку, оскільки воно одночасно забезпечує екологічні, економічні та соціальні ефекти [4–6]. Зокрема, органічне сільське господарство безпосередньо пов'язане з досягненням низки Цілей сталого розвитку (ЦСР), включаючи подолання голоду (ЦСР 2), забезпечення доступу до чистої води (ЦСР 6), відповідальне споживання та виробництво (ЦСР 12), боротьбу зі зміною клімату (ЦСР 13) та збереження наземних екосистем (ЦСР 15) [7–9].

Проте, незважаючи на значну кількість наукових праць, присвячених дослідженню органічного виробництва, слід відзначити наявність певних прогалин у сучасних дослідженнях. Зокрема, недостатньо розробленими залишаються питання кількісної оцінки внеску органічного виробництва у досягнення Цілей сталого розвитку, що ускладнює можливість об'єктивного порівняння його ефективності з традиційними моделями господарювання. Більшість наукових робіт зосереджена на окремих екологічних або соціально-економічних аспектах, тоді як комплексний підхід до оцінювання впливу органічного сектору на систему ЦСР потребує подальшого вдосконалення.

Мета, завдання та методики проведення досліджень. Метою дослідження є наукове обґрунтування та апробація методичного підходу до інтегральної оцінки внеску органічного виробництва у досягнення Цілей сталого розвитку з урахуванням екологічних, соціальних та економічних аспектів функціонування аграрного сектору.

Для досягнення поставленої мети визначено такі основні завдання дослідження:

- проаналізувати теоретико-методичні підходи до оцінки впливу органічного виробництва на сталий розвиток та узагальнити сучасні наукові підходи до інтерпретації його ролі у досягненні ЦСР;

- запропонувати методика інтегральної оцінки, що дозволяє кількісно визначити рівень впливу органічного виробництва на екологічні компоненти та ЦСР;

- оцінити рівень внеску органічного виробництва у досягнення окремих Цілей сталого розвитку та визначити найбільш значущі напрями впливу.

Методичною основою оцінки є бальний підхід, що передбачає визначення рівня впливу органічного виробництва на кожну з обраних ЦСР за шкалою від 0 до 3, де 0 відповідає відсутності впливу, а 3 – високому рівню позитивного впливу. Такий підхід дозволяє узагальнити різноманітні показники та сформуванню інтегральну оцінку внеску органічного сектору у досягнення стратегічних цілей сталого розвитку.

Інтегральну оцінку ЦСР визначали за формулою:

$$I_{SDG} = \frac{\sum S_i}{n}, \quad (1)$$

де S_i – оцінка впливу; n – кількість ЦСР.

Виклад основного матеріалу дослідження. У сучасних умовах трансформації аграрного сектору органічне виробництво розглядається як один із ключових інструментів досягнення Цілей сталого розвитку (ЦСР), оскільки забезпечує комплексний позитивний вплив на складові розвитку.

Однією з найважливіших функцій органічного виробництва є сприяння досягненню ЦСР 2 «Подолання голоду», яка передбачає забезпечення продовольчої безпеки та розвиток сталого сільського господарства. Органічне землеробство сприяє підвищенню якості продукції, збереженню родючості ґрунтів та формуванню стійких агроecosystem, що є основою довгострокової продовольчої безпеки [5; 8].

Значний внесок органічне виробництво здійснює у досягнення ЦСР 6 «Чиста вода та санітарія», оскільки воно передбачає мінімізацію використання хімічних речовин та зменшення ризиків забруднення водних ресурсів. Відмова від синтетичних добрив і пестицидів сприяє зниженню рівня нітратного та хімічного забруднення підземних і поверхневих вод, що є важливим фактором забезпечення екологічної безпеки та здоров'я населення [10; 11].

Органічне виробництво також безпосередньо пов'язане з реалізацією ЦСР 12 «Відповідальне споживання та виробництво»,

оскільки воно орієнтоване на раціональне використання ресурсів, зменшення відходів та впровадження екологічно безпечних технологій. У цьому контексті органічне господарювання сприяє формуванню замкнених циклів виробництва, підвищенню ресурсоефективності та розвитку екологічно відповідального споживання [5; 12].

Важливим аспектом є також внесок органічного виробництва у досягнення ЦСР 13 «Боротьба зі зміною клімату». Органічні технології сприяють зменшенню викидів парникових газів, підвищенню здатності ґрунтів до акумуляції вуглецю та зниженню енергозатратності виробництва. Це дозволяє підвищити адаптаційний потенціал аграрного сектору до кліматичних змін і зменшити його негативний вплив на кліматичну систему [8].

Не менш важливим є внесок органічного виробництва у реалізацію ЦСР 15 «Збереження екосистем суші», яка передбачає охорону земельних ресурсів, збереження біорізноманіття та відновлення деградованих екосистем. Органічне господарювання сприяє відновленню природних екосистем, підвищенню біологічного різноманіття та зменшенню деградації ґрунтів, що є важливим фактором екологічної стійкості територій [5] (рис. 1).



Рис. 1. Зв'язок органічного виробництва з Цілями сталого розвитку

Оцінка внеску органічного виробництва у досягнення (ЦСР) дозволяє визначити його роль у забезпеченні екологічної, соціальної

та економічної збалансованості аграрного сектору. З огляду на багатофункціональний характер органічного виробництва, оцінювання здійснювалося за ключовими ЦСР, які найбільш тісно пов'язані з аграрною діяльністю, зокрема у сфері продовольчої безпеки, охорони здоров'я, раціонального використання природних ресурсів та збереження екосистем.

Оцінка внеску органічного виробництва у досягнення ЦСР наведено у таблиці.

Таблиця

Оцінка внеску органічного виробництва у досягнення ЦСР

ЦСР	Характер впливу	Бал
ЦСР 2	Підвищення якості продукції, розвиток сталого сільського господарства	3
ЦСР 3	Зменшення впливу пестицидів на здоров'я населення	3
ЦСР 6	Зниження забруднення водних ресурсів	3
ЦСР 12	Впровадження сталих моделей виробництва	3
ЦСР 13	Зменшення викидів парникових газів	2
ЦСР 15	Збереження біорізноманіття та екосистем	3

Аналіз наведених у таблиці даних свідчить, що органічне виробництво має високий рівень позитивного впливу на більшість досліджуваних Цілей сталого розвитку. Зокрема, максимальні значення отримано за ЦСР 2, ЦСР 3, ЦСР 6, ЦСР 12 та ЦСР 15, що підтверджує значний потенціал органічного сектору у забезпеченні продовольчої безпеки, зниженні екологічних ризиків та збереженні природних екосистем. Дещо нижчий рівень впливу зафіксовано щодо ЦСР 13, що обумовлено необхідністю додаткового впровадження кліматично орієнтованих технологій та заходів декарбонізації (рис. 2).

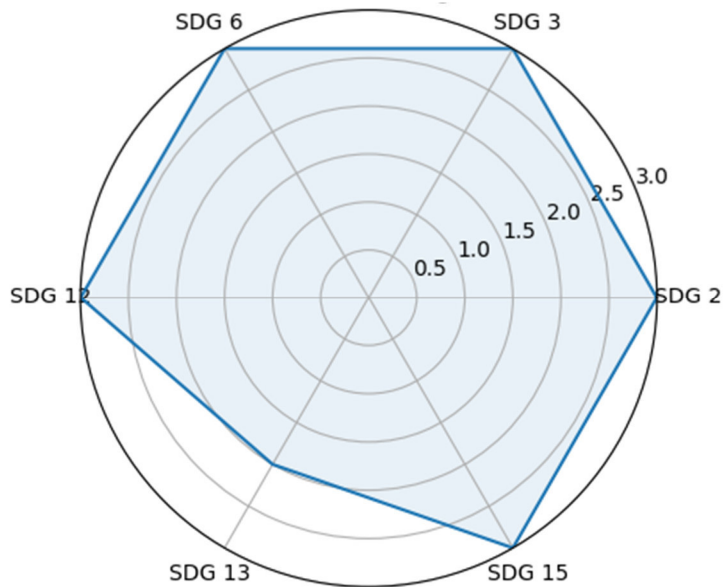


Рис. 2. Оцінка внеску органічного виробництва у досягнення Цілей сталого розвитку

З метою узагальнення результатів оцінювання було розраховано інтегральний показник внеску органічного виробництва у досягнення ЦСР. Отримане значення індексу становить: $I_{SDG} = 2,83$.

Отриманий результат свідчить про високий рівень внеску органічного виробництва у досягнення Цілей сталого розвитку, що підтверджує його ефективність як інструменту забезпечення екологічної безпеки, підвищення якості життя населення та формування стійких моделей господарювання. Таким чином, органічне виробництво доцільно розглядати як один із пріоритетних напрямів трансформації аграрного сектору в умовах переходу до сталого розвитку.

Висновки. Отримані результати свідчать, що органічне виробництво є ефективним інструментом досягнення Цілей сталого розвитку, оскільки забезпечує комплексний позитивний вплив на довкілля, здоров'я населення та економічну стійкість аграрного сектору. Запропонований методичний підхід до інтегральної оцінки дозволяє підвищити обґрунтованість наукових досліджень та практичних рішень у сфері сталого розвитку, що відкриває перспективи для подальших досліджень і впровадження інноваційних підходів до управління органічним виробництвом.

1. Jirapornvaree I., Suppadit T., Kumar V. Assessing the environmental impacts of agrifood production. *Clean Techn Environ Policy*. 2022. Vol. 24. P. 1099–1112. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02153-5>. 2. Резніченко В. П., Коломієць Л. В., Стефанюк С. В. Органічне сільське господарство: виклики та перспективи розвитку. *Аграрні інновації*. 2024. № 23. С. 134–140. DOI <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.20>. 3. Valerko R. Сутність, основні принципи та концепція існування органічного виробництва. Управління органічним виробництвом (Organic Production Management), episode 2, Zhytomyr Polytechnic State University et al., 2025. <https://doi.org/10.5446/65567>. 4. Ansari A. M., Khan Mohd. R. Role of the Organic Food System in Achieving Sustainable Development Goals: A Review Study. *Journal of Climate Change*. 2024. Vol. 10(4). P. 9–16. <https://doi.org/10.3233/JCC240028>. 5. Pânzaru R. L., Firoiu D., Ionescu G. H. et al. Organic Agriculture in the Context of 2030 Agenda Implementation in European Union Countries. *Sustainability*. 2023. Vol. 15(13). P. 10582. <https://doi.org/10.3390/su151310582>. 6. Šeremešić S., Dolijanović Ž., Simin M. T. et al. The Future We Want: Sustainable Development Goals Accomplishment with Organic Agriculture. *Problemy Ekorozwoju*. 2021. Vol. 16(2). P. 171–180. <https://doi.org/10.35784/pe.2021.2.18>. 7. Mkhize S., Ellis D. Organic consumption as a means to achieve sustainable development goals and agenda 2063. *Sustainable Development*. 2024. Vol. 32(5). P. 5181–5192. <https://doi.org/10.1002/sd.2966>. 8. Nowak A., Kobiątka A. The significance of organic farming in the European Union from the perspective of sustainable development. *Economics and Environment*. 2024. Vol. 88(1). P. 710. doi:10.34659/eis.2024.88.1.710. 9. Петровська М. А., Петровський С. В. Органічне виробництво в Україні як пріоритетна складова сталого розвитку. *Екологічні науки*. 2023. № 6(51). С. 217–223. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.есо.6-51.36>. 10. Романчук Л. Д., Валерко Р. А. Органічне сільське господарство як чинник впливу на рівень нітратів у воді з нецентралізованих джерел сільських населених пунктів. *Scientific Progress & Innovations*. 2024. № 27 (4). С. 98–104. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.04.16>. 11. Romanchuk L. D., Valerko R. A., Herasymchuk L. O., Kravchuk M. M. Assessment of the impact of organic Agriculture on Nitrate Content in Drinking Water in Rural Settlements of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11(2). P. 17–26. https://doi.org/10.15421/2021_71. 12. Calabro G., Vieri S. Limits and potential of organic farming towards a more sustainable European agri-food system. *British Food Journal*. 2023. Vol. 126(1). <https://doi.org/10.1108/BFJ-12-2022-1067>.

REFERENCES:

1. Jirapornvaree I., Suppadit T., Kumar V. (2022). Assessing the environmental impacts of agrifood production. *Clean Techn Environ Policy*. Vol. 24. P. 1099–1112. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02153-5>. 2. Reznichenko V. P., Kolomiets L. V., Stefaniuk C. V. Orhanichne silske gospodarstvo: vyklyky ta perspektvyv rozvytku. *Ahrarni innovatsii*. 2024. № 23. S. 134–140. DOI <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.20>. 3. Valerko R. Sutnist, osnovni pryntsyvy ta kontseptsii isnuvannia orhanichnoho vyrobnytstva. Upravlinnia orhanichnym vyrobnytstvom (Organic Production Management), episode 2, Zhytomyr Polytechnic State University et al., 2025. <https://doi.org/10.5446/65567>. 4. Ansari A. M., Khan Mohd. R. Role of the Organic Food System in Achieving Sustainable Development

Goals: A Review Study. *Journal of Climate Change*. 2024. Vol. 10(4). P. 9–16. <https://doi.org/10.3233/JCC240028>. **5.** Pânzaru R. L., Firoiu D., Ionescu G. H. et al. Organic Agriculture in the Context of 2030 Agenda Implementation in European Union Countries. *Sustainability*. 2023. Vol. 15(13). P. 10582. <https://doi.org/10.3390/su151310582>. **6.** Šeremešić S., Dolijanović Ž., Simin M. T. et al. The Future We Want: Sustainable Development Goals Accomplishment with Organic Agriculture. *Problemy Ekorożwoju*. 2021. Vol. 16(2). P. 171–180. <https://doi.org/10.35784/pe.2021.2.18>. **7.** Mkhize S., Ellis D. Organic consumption as a means to achieve sustainable development goals and agenda 2063. *Sustainable Development*. 2024. Vol. 32(5). P. 5181–5192. <https://doi.org/10.1002/sd.2966>. **8.** Nowak A., Kobiątka A. The significance of organic farming in the European Union from the perspective of sustainable development. *Economics and Environment*. 2024. Vol. 88(1). P. 710. doi:10.34659/eis.2024.88.1.710. **9.** Petrovska M. A., Petrovskiy S. V. Orhanichne vyrobnytstvo v Ukraini yak priorytetna skladova staloho rozvytku. *Ekolohichni nauky*. 2023. № 6(51). S. 217–223. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.36>. **10.** Romanchuk L. D., Valerko R. A. Orhanichne silske hospodarstvo yak chynnyk vplyvu na riven nitrativ u vodi z netsentralizovanykh dzherel silskykh naselenykh punktiv. *Scientific Progress & Innovations*. 2024. № 27 (4). S. 98–104. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.04.16>. **11.** Romanchuk L. D., Valerko R. A., Herasymchuk L. O., Kravchuk M. M. Assessment of the impact of organic Agriculture on Nitrate Content in Drinking Water in Rural Settlements of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11(2). P. 17–26. https://doi.org/10.15421/2021_71. **12.** Calabro G., Vieri S. Limits and potential of organic farming towards a more sustainable European agri-food system. *British Food Journal*. 2023. Vol. 126(1). <https://doi.org/10.1108/BFJ-12-2022-1067>.

Valerko R. A. [1: ORCID ID: 0000-0003-4716-0100],

Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor

¹Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr

ASSESSMENT OF THE CONTRIBUTION OF ORGANIC PRODUCTION TO THE ACHIEVEMENT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

The article examines the role of organic production as a key instrument for achieving the Sustainable Development Goals (SDGs). The theoretical foundations of its relationship with the environmental, social, and economic components of sustainable development are substantiated. A review of contemporary scientific approaches to assessing the impact of organic production on SDG implementation is conducted, which reveals the need for integrated and quantitative evaluation methods capable of capturing its multidimensional effects.

A methodological approach to the integral assessment of the contribution of organic production to the achievement of the SDGs is proposed. The approach is based on a system of indicators that reflect the most relevant goals for the agricultural sector and their aggregation into a single integral index. The assessment focuses on such SDGs as zero hunger, good health and well-being, clean water and sanitation, responsible consumption and production, climate action, and life on land. This enables a comprehensive evaluation of the ecological and socio-economic effects of organic production.

The results show that the integral index of the contribution of organic production equals 2.83, indicating a high level of impact on achieving the SDGs. The most significant positive effects are observed in improving product quality, reducing environmental pressure, and preserving biodiversity. At the same time, a comparatively lower impact on climate-related goals highlights the need for further implementation of climate-oriented and low-carbon practices.

It is concluded that organic production is an effective tool for ensuring environmental safety, rational use of natural resources, and enhancing the sustainability of the agricultural sector. The proposed approach can be applied in policy-making, management decision-making, and further research in the field of sustainable development.

Keywords: organic production; sustainable development; Sustainable Development Goals; integrated assessment; environmental safety; agricultural sector.

Отримано / Received: 05.03.2026

Прийнято до друку / Accepted: 15.03.2026

Опубліковано / Published: 27.03.2026



© 2026 [Valerko R. A.]. Licensee {NUWEE}. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org)

Гаврилюк В. А. [1; ORCID ID: 0000-0003-3923-0842],
К.С.-Г.Н., С.Н.С., в.о. директора,
Мелимука Р. Я. [1; ORCID ID: 0000-0003-2133-5654],
доктор філософії з біології, м.н.с.,
Бортнік Т. П. [1; ORCID ID: 0000-0002-8159-2479],
К.С.-Г.Н., С.Н.С.

¹Поліська дослідна станція Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», м. Луцьк

ІНТЕНСИВНІСТЬ ЕМІСІЇ ДІОКСИДУ КАРБОНУ ЯК ІНДИКАТОР АДАПТАЦІЇ МЕЛІОРОВАНИХ ҐРУНТІВ ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ ДО КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН

У статті представлено результати багаторічних моніторингових досліджень інтенсивності емісії діоксиду карбону (CO₂) як фундаментального індикатора адаптації меліорованих ґрунтів Західного Полісся до сучасних кліматичних викликів. Дослідження проводилися протягом 2021–2025 років на одинадцяти стаціонарних полігонах Волинської області (с. Положеве та с. Римачі), що охоплювали органогенні торфовища та мінеральні дерново-підзолисті осушені ґрунти. Об'єктами вивчення стали різні моделі землекористування: інтенсивне рільництво, багаторічні насадження лохини із системами мікрозрошення та природні цілинні ділянки.

Методологія досліджень базувалася на камерному методі з використанням газоаналізатора Testo 535, що дозволило з високою точністю зафіксувати динаміку ґрунтового дихання. Встановлено, що найвищі показники емісії (213,8–216,0 мг/м²/год) характерні для органогенних ґрунтів за умов інтенсивного обробітку під однорічні культури. Це свідчить про глибоку деградацію торфового шару та прискорену мінералізацію органічної речовини під впливом аерації та підвищених температур.

Науково обґрунтовано, що перехід до вирощування багаторічних ягідників сприяє стабілізації вуглецевого обміну (186–188 мг/м²/год). Такий ефект досягається завдяки мінімізації механічного порушення структури ґрунту та застосуванню крапельного поливу, який запобігає надмірному пересушуванню торфу. Мінеральні ґрунти демонструють суттєво нижчий рівень емісії (132–151 мг/м²/год), проте також виявляють тенденцію до зростання потоків CO₂ при інтенсивному використанні.

Доведено, що впровадження адаптивних моделей ландшафтної трансформації, таких як ренатуралізація деградованих торфовищ та розширення площ багаторічних насаджень, є критичною умовою для депонування вуглецю. Результати дослідження є підґрунтям для розробки стратегій раціонального природокористування та підвищення екологічної стійкості агроландшафтів регіону в умовах глобального потепління.

Ключові слова: емісія діоксиду карбону; Західне Полісся; меліоровані ґрунти; зміни клімату; вуглецевий баланс; осушені ґрунти; ландшафтна адаптація.

Постановка проблеми. Глобальні кліматичні зміни, що супроводжуються підвищенням середньорічної температури повітря, зміною режиму атмосферних опадів та зростанням частоти екстремальних погодних явищ, ставлять перед аграрною наукою нові виклики. У цих умовах особливої актуальності набуває проблема стабілізації вуглецевого балансу ґрунтів, оскільки саме ґрунтовий покрив виступає одним із ключових резервуарів органічного вуглецю біосфери. Водночас меліоровані осушені органогенні ґрунти є найбільш чутливими до змін гідротермічного режиму, що за умов дефіциту вологи та підвищення температур призводить до активізації процесів мінералізації органічної речовини та стрімкого зростання емісії діоксиду карбону із ґрунту.

Ґрунтове «дихання» є інтегральним показником біологічної активності, який відображає сумарний результат мікробіологічних, ферментативних та фізико-хімічних процесів трансформації органічної речовини. Оцінка інтенсивності емісії діоксиду карбону дозволяє визначити напрям і швидкість змін у вуглецевому балансі агроландшафту та може використовуватися як фундаментальний критерій екологічної стійкості сучасних систем землекористування в умовах Західного Полісся.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зміни клімату мають значний вплив на агроєкосистеми та сільськогосподарське виробництво, провокуючи значну кількість змін якісних характеристик ґрунту, що в поєднанні із тенденціями кліматичних змін є особливо руйнівним [1]. Кліматичні зміни впливають на функціонування агроєкосистем через зміну водного режиму ґрунтів, біологічної активності та ефективності використання земель, що потребує адаптації агротехнологій [2; 3; 4].

За оцінками вчених, які займалися дослідженнями, що спрямовані на процес емісії діоксиду карбону, сумарний річний потік вуглекислого газу із наземних екосистем планети складає 50–77 Гт, а діоксиду карбону в атмосфері на 90% має ґрунтове походження, тобто

це той обсяг діоксиду карбону, який продукує ґрунт, його мікроорганізми у результаті проходження біологічних процесів [5; 6; 10].

Важливим фактором є температурна чутливість мікробного дихання (показник Q_{10}), яка, за останніми даними, значно зростає під впливом мікробіомних змін, що робить ґрунти з високим вмістом органіки особливо вразливими до потепління [11].

Глобальні метааналізи показують, що в помірних зонах швидкість ґрунтового дихання може зростати на 16% у відповідь на потепління, що критично для осушуваних територій [12].

У контексті Західного Полісся розробка моделей ландшафтної адаптації стає фундаментом раціонального природокористування. Особлива увага приділяється тому, що розорювання та інтенсивний обробіток торфовищ призводять до вивільнення вуглецю, яке значно перевищує потенціал його секвестрації. Через це, збалансоване та раціональне функціонування аграрного сектора економіки поліського регіону неможливе без організації ефективного раціонального природокористування за умов розробки моделей ландшафтної адаптації осушуваних ґрунтів Західного Полісся [7].

Мета, завдання та методики проведення досліджень. Метою досліджень було встановити закономірності зміни інтенсивності емісії діоксиду карбону з органогенних і мінеральних осушуваних ґрунтів Західного Полісся за різних типів господарського використання.

Дослідження проводили протягом 2021–2025 років на стаціонарних полігонах поблизу села Положеве та села Римачі Ковельського району Волинської області, що репрезентують основні типи землекористування регіону: інтенсивне рільництво, ягідні багаторічні насадження та природні (цілинні) ділянки. Було закладено 11 ґрунтових розрізів на осушуваних ґрунтах, із них 4 на осушуваних органогенних ґрунтах та 7 на мінеральних осушуваних дерново-підзолистих ґрунтах.

Вимірювання проводили за допомогою портативного газового аналізатора Testo 535, який дає можливість фіксувати мінімальне, максимальне, середнє та головне (значення, яке є фоном для періоду вимірювання) значення періоду вимірювання, а також прилад не потребує калібрування, що робить його зручним у використанні. Вимірювання інтенсивності емісії діоксиду вуглецю проводили у

ізолюваній камері об'ємом 2645 мл, площа поверхні камери становила 0,013 м².

Результати вимірювань приладом дають значення у ppm, для обрахунку абсолютних значень отримані дані перераховуються за формулою:

$$V = (i \times t \times v / S) \times M_{CO_2} / NA,$$

де V – швидкість виділення CO₂, мгCO₂/м²; i – інтенсивність виділення CO₂, мг/м²/год; t – час експозиції, год; v – об'єм камери, мл; S – площа поверхні основи камери, м²; NA – стала Авогадро; M_{CO_2} – молекулярна маса CO₂.

Результати вимірювання питомого потоку CO₂ з поверхні ґрунту обчислювали у міліграмах на метр квадратний за 1 годину.

Виклад основного матеріалу дослідження. Результати досліджень засвідчили чітку диференціацію показників залежно від генетичного типу ґрунту та характеру його використання, а також яскраво демонструють тенденцію змін показника інтенсивності емісії діоксиду карбону із ґрунту, що дає змогу оцінити майбутні ризики вуглецевого балансу.

Найвищі показники емісії діоксиду карбону зафіксовані на органогенних ґрунтах за умов інтенсивного сільськогосподарського використання. У 2021 році інтенсивність становила 213,8 мг/м²/год, тоді як у 2025 році зросла до 216,0 мг/м²/год (табл. 1). Поступове збільшення показників свідчить про стабільну тенденцію до посилення мінералізаційних процесів органогенних осушуваних ґрунтів за умови їх інтенсивного використання у сільському господарстві під рілля. У цьому аспекті варто зазначити, що навіть незначне щорічне зростання має акумулятивний ефект у довгостроковій перспективі, що може призводити до істотних втрат органічного вуглецю.

На ділянках із ягідниками інтенсивність емісії перебувала в межах 186–188 мг/м²/год і характеризувалася відносною стабільністю.

Таблиця 1

 Зміна інтенсивності емісії діоксиду карбону органічних
осушуваних ґрунтів

№ полігону	Тип, призначення ґрунту	Емісія CO ₂ , мг/м ² /год				
		Роки				
		2021	2022	2023	2024	2025
1	Торфовище сильно розкладене осушуване (ягідники)	188,2	186,7	187	186,8	186,6
2	Торфовище середньо глибоке (с.-г. культури)	213,8	214,8	215	215,7	216
3	Торфовище середньо глибоке осушуване (під ягідники)	180,6	180	178,6	176,6	176,1
4	Торфовище глибоке сильно розкладене осушуване (цілина)	168,7	169,2	166,7	167,3	167,5

Подекуди фіксувалося незначне зниження показників, що може свідчити про певну стабілізацію мікробіологічних процесів у разі менш інтенсивного механічного впливу, а також застосування системи крапельного поливу, яка є характерною під час вирощування ягідників лохини, адже за умов переосушення ґрунту – активізуються процеси мінералізації.

Найнижчі значення на органічних ґрунтах зафіксовано на цілинній ділянці – не більше 169,2 мг/м²/год із стабільними значеннями впродовж періоду досліджень.

Мінеральні ґрунти демонстрували суттєво нижчий рівень емісії (табл. 2).

Таблиця 2

 Зміна інтенсивності емісії діоксиду карбону мінеральних
осушуваних ґрунтів

№ полігону	Тип, призначення ґрунту	Емісія CO ₂ , мг/м ² /год				
		Роки				
		2021	2022	2023	2024	2025
5	Дерново-підзолистий супіщаний осушуваний (ягідники)	139,1	139,3	137,5	137,3	137,3

продовження табл. 2

6	Дерново-підзолистий оглеєний осушуваний переущільнений (ягідники)	137,9	141,1	137,1	137,3	137,2
7	Дерново-підзолистий зв'язно-піщаний оглеєний осушуваний (ягідники)	136,7	136,6	135,5	135,6	135,9
8	Дерново-підзолистий супіщаний осушуваний (с.-г. культури)	149,1	150	150,3	150,3	150,7
9	Дерново-підзолистий супіщаний осушуваний (цілина)	132,7	132,9	132,3	132,5	132,8
10	Дерново-підзолистий зв'язно-піщаний осушуваний переущільнений (під ягідники)	146,7	148,8	149,1	147,6	148,1
11	Дерново-підзолистий супіщаний осушуваний (під ягідники)	140,7	142,3	139,1	139,3	139,8

На ділянці призначеній для вирощування сільськогосподарських культур показники емісії діоксиду карбону коливалися в межах 149–151 мг/м²/год із незначною тенденцією до зростання.

Під ягідними культурами інтенсивність емісії становила 136–139 мг/м²/год, а на цілинних ділянках не перевищувала 133 мг/м²/год, демонструючи в обох випадках стабілізацію показника аналогічно тому, як це відбувалося на органогенних осушуваних ґрунтах.

Різниця між органогенними та мінеральними ґрунтами сягала 60–80 мг/м²/год. Такий розрив пояснюється високим вмістом органічної речовини в торфових ґрунтах і значно більшим потенціалом її мінералізації. Тобто органогенні ґрунти більше акумулюють вуглецю, відтак його втрати природно більші.

Висока емісійна здатність торфовищ обумовлена не лише великими запасами вуглецю, а й високою активністю мікробіоти, яка за умов осушення та аерації переходить із анаеробного стану в активну фазу мінералізації, що підтверджується кореляційним зв'язком між вмістом лабільного органічного вуглецю та інтенсивністю емісії діоксиду карбону, адже саме ця фракція вуглецю першою реагує на антропогенний чи природний вплив, що призводить до втрати вуглецю, тобто емісії [8].

Інтенсивність емісії діоксиду вуглецю – це процес, що формується під впливом складної взаємодії кліматичних, гідрологічних і антропогенних чинників. Підвищення температури ґрунту стимулює ферментативну активність мікроорганізмів, що пришвидшує розкладання органічних сполук [9]. Водночас тривале осушення знижує рівень ґрунтових вод, підвищує аерацію торфового горизонту та створює сприятливі умови для окиснювальних процесів.

Коливання вологості мають подвійний ефект, адже надмірне пересушування прискорює мінералізацію, тоді як підтримання оптимального рівня зволоження здатне стримувати швидкість розкладу органічної речовини, що також супроводжується виділенням діоксиду карбону. У структурі агротехнічних чинників важливу роль відіграє інтенсивність механічного обробітку, адже руйнування ґрунтових агрегатів підвищує доступність органічної маси для мікроорганізмів і стимулює процес мінералізації, а відтак і емісії.

Водночас використання малобуферних мінеральних осушуваних ґрунтів та вразливих до великих об'ємів втрат вуглецю органогенних ґрунтів із точки зору адаптивного до змін клімату землеробства – це ключ до збереження ґрунтових екосистем не лише у майбутньому, а й сьогодні. Так, багаторічні ягідники формують більш стабільний мікроклімат, зменшують температурні коливання та сприяють частковій стабілізації вуглецевого обміну. Природний рослинний покрив забезпечує найменшу амплітуду змін, що підтверджується мінімальними показниками емісії на цілих ділянках. Адаптивна модель управління ґрунтовими ресурсами базується на врахуванні ґрунтово-гідрологічних особливостей території. Для органогенних ґрунтів із високим рівнем деградації доцільним є застосування елементів ренатуралізації або часткової консервації. Переведення окремих ділянок у багаторічні насадження або природний стан може сприяти стабілізації вуглецевого балансу.

Таким чином, емісія діоксиду карбону виступає не лише показником біологічної активності, а й критерієм ефективності адаптаційних стратегій. Її зниження свідчить про гармонізацію взаємодії між продуктивною та екологічною функціями агроландшафту, а впровадження просторово-диференційованих моделей ландшафтної адаптації, регульованого водного режиму та ощадних технологій землеробства є ключовими умовами зменшення

вtrat органічного вуглецю та підвищення екологічної стійкості агроландшафтів у довгостроковій перспективі.

Висновки. Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що інтенсивність емісії діоксиду карбону виступає не лише показником біологічної активності, а й об'єктивним критерієм ефективності обраних адаптаційних стратегій у землеробстві. Отримані результати засвідчили чітку диференціацію показників залежно від генетичного типу ґрунту та характеру його використання, де осушувані ґрунти за умов інтенсивної ріллі демонструють стабільну тенденцію до посилення мінералізаційних процесів. Водночас використання осушуваних ґрунтів для вирощування багаторічних ягідників сприяє мінімізації амплітуду вtrat вуглецю. Таким чином, впровадження просторово-диференційованих моделей ландшафтної адаптації та ощадних технологій землеробства є ключовими умовами зменшення вtrat органічного вуглецю та підвищення екологічної стійкості агроландшафтів Західного Полісся у довгостроковій перспективі.

1. Меліоровані агроєкосистеми у Західному Поліссі / Ю. О. Тараріко, М. В. Яцюк, Р. В. Сайдак, В. В. Книш. *Аграрні інновації*. 2024. № 26. С. 111–120. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov>.
2. Дячук О. В., Рокочинський А. М., Чугай Є. О. Необхідність та шляхи поліпшення еколого-меліоративного стану осушуваних торфових ґрунтів Західного Полісся України. *Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції* : тези Всеукраїнської науково-практичної конференції, 27 жовтня 2016 року. Житомир : ЖДТУ, 2016. С. 38–39. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2016/11/38-1.pdf> (дата звернення: 10.02.2026).
3. Jenkinson D. S., Adams D. E., Wild A. Model estimates of CO₂ emissions from soil in response to global warming. *Nature*. 1991. Vol. 351 (6324). P. 304–306. <https://doi.org/10.1038/351304A0>.
4. Report on the impact of climate on agriculture. U.S. Department of Agriculture. 2008. URL: https://grdc.com.au/_data/assets/pdf_file/0032/229595/soil-carbon-and-greenhouse-gas-emissions-factsheet.pdf.pdf (дата звернення: 10.02.2026).
5. Houghton, Richard A., and George M. Woodwell. Global Climatic Change. *Scientific American*. 1989. Vol. 260, no. 4. Pp. 36–47. URL: <http://www.jstor.org/stable/24987210>. (дата звернення: 10.02.2026).
6. Schlesinger W. H., Andrews J. A. Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry*. 2000. Vol. 48. P. 7–20. <https://doi.org/10.1023/A:1006247623877>.
7. Коваль С. І. Аналіз та оцінка сучасного стану земельних та аграрних ресурсів. *Вісник НУВГП. Сер. Сільськогосподарські науки*. 2016. Вип. 1 (73). С. 22–29.
8. Hamkalo Z., Bedernichek T. Total, cold and hot water extractable organic carbon in soil profile: impact of land-use change. *Folia Forestalia Polonica. Ser. A – Forestry*. 2014. Vol. 56 (3). P. 125–132. DOI: 10.13080/z-a.2014.101.016.
9. Ray R. L. et al. Soil CO₂ emission in response to organic amendments, temperature, and rainfall. *Scientific Reports volume*. 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-62267-6
10. Khalifah, Shaima, et al. Soil greenhouse gas dynamics under biosolid amendments based on laboratory, field, and modeling approaches. *Frontiers in Environmental Science*. 2025. Vol. 13. P. 1577071. DOI: 10.3389/fenvs.2025.1577071
11. Novielli P., Magarelli M., Romano D., De Trizio L., Di Bitonto P., Monaco A., Tangaro S. Climate change

and soil health: Explainable artificial intelligence reveals microbiome response to warming. *Machine Learning and Knowledge Extraction*. 2024. Vol. 6(3). P. 1564–1578. DOI: <https://doi.org/10.3390/make6030075>. **12.** Ngaba M. J. Y., Uwiragiye Y., Hu, B., Zhou J., Dannenmann M., Calanca P., Rennenberg H. Effects of environmental changes on soil respiration in arid, cold, temperate, and tropical zones. *Science of the Total Environment*. 2024. Vol. 952. P. 175943. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175943>

REFERENCES:

- 1.** Meliorovani ahroekosystemy u Zakhidnomu Polissi / Yu. O. Tarariko, M. V. Yatsiuk, R. V. Saidak, V. V. Knysh. *Ahrarni inovatsii*. 2024. № 26. S. 111–120. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov>. **2.** Diachuk O. V., Rokochynskiy A. M., Chuhai Ye. O. Neobkhdnist ta shliakhy polipshennia ekoloho-melioratyvnoho stanu osushuvanykh torfovykh gruntiv Zakhidnoho Polissia Ukrainy. *Stalyi rozvytok krainy v ramkakh Yevropeiskoi intehratsii* : tezy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii, 27 zhovtnia 2016 roku. Zhytomyr : ZhDTU, 2016. S. 38–39. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2016/11/38-1.pdf> (data zvernennia: 10.02.2026). **3.** Jenkinson D. S., Adams D. E., Wild A. Model estimates of CO₂ emissions from soil in response to global warming. *Nature*. 1991. Vol. 351 (6324). P. 304–306. <https://doi.org/10.1038/351304A0>. **4.** Report on the impact of climate on agriculture. U.S. Department of Agriculture. 2008. URL: https://grdc.com.au/_data/assets/pdf_file/0032/229595/soil-carbon-and-greenhouse-gas-emissions-factsheet.pdf.pdf (data zvernennia: 10.02.2026). **5.** Houghton, Richard A., and George M. Woodwell. Global Climatic Change. *Scientific American*. 1989. Vol. 260, no. 4. Pp. 36–47. URL: <http://www.jstor.org/stable/24987210>. (data zvernennia: 10.02.2026). **6.** Schlesinger W. H., Andrews J. A. Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry*. 2000. Vol. 48. P. 7–20. <https://doi.org/10.1023/A:1006247623877> **7.** Koval S. I. Analiz ta otsinka suchasnoho stanu zemelnykh ta ahrarnykh resursiv. *Visnyk NUVHP. Ser. Silskohospodarski nauky*. 2016. Vyp. 1 (73). S. 22–29. **8.** Hamkalo Z., Bedernichek T. Total, cold and hot water extractable organic carbon in soil profile: impact of land-use change. *Folia Forestalia Polonica. Ser. A – Forestry*. 2014. Vol. 56 (3). P. 125–132. DOI: 10.13080/z-a.2014.101.016. **9.** Ray R. L. et al. Soil CO₂ emission in response to organic amendments, temperature, and rainfall. *Scientific Reports volume*. 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-62267-6 **10.** Khalifah, Shaima, et al. Soil greenhouse gas dynamics under biosolid amendments based on laboratory, field, and modeling approaches. *Frontiers in Environmental Science*. 2025. Vol. 13. P. 1577071. DOI: 10.3389/fenvs.2025.1577071 **11.** Novielli P., Magarelli M., Romano D., De Trizio L., Di Bitonto P., Monaco A., Tangaro S. Climate change and soil health: Explainable artificial intelligence reveals microbiome response to warming. *Machine Learning and Knowledge Extraction*. 2024. Vol. 6(3). P. 1564–1578. DOI: <https://doi.org/10.3390/make6030075>. **12.** Ngaba M. J. Y., Uwiragiye Y., Hu, B., Zhou J., Dannenmann M., Calanca P., Rennenberg H. Effects of environmental changes on soil respiration in arid, cold, temperate, and tropical zones. *Science of the Total Environment*. 2024. Vol. 952. P. 175943. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175943>

Havryliuk V. A. [1; ORCID ID: 0000-0003-3923-0842],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.),
Senior Research Fellow, Acting Director,

Melymuka R. Ya. [1; ORCID ID: 0000-0003-2133-5654],

Ph.D. in Biology, Junior Research Fellow,

Bortnik T. P. [1; ORCID ID: 0000-0002-8159-2479],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Senior Research Fellow

¹Polisska Experimental Station of National Scientific Center «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky», Lutsk

CARBON DIOXIDE EMISSION INTENSITY AS AN INDICATOR OF ADAPTATION OF RECLAIMED SOILS OF WESTERN POLISSIA TO CLIMATE CHANGE

The article presents the results of long-term monitoring studies on carbon dioxide (CO₂) emission intensity as a fundamental indicator of the adaptation of reclaimed soils in Western Polissia to modern climatic challenges. The research was conducted between 2021 and 2025 at eleven stationary monitoring sites in the Volyn region (Polozheve and Rymachi villages), covering organogenic peatlands and mineral sod-podzolic drained soils. The study focused on various land-use models: intensive arable farming, perennial blueberry plantations with micro-irrigation systems, and natural virgin areas. The research methodology was based on the chamber method using a Testo 535 gas analyzer, which allowed for high-precision recording of soil respiration dynamics. It was established that the highest emission rates (213.8–216.0 mg/m²/hour) are characteristic of organogenic soils under intensive cultivation for annual crops.

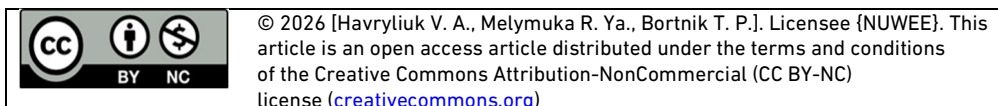
This indicates profound degradation of the peat layer and accelerated mineralization of organic matter driven by increased aeration and rising ambient temperatures. It is scientifically substantiated that transitioning to the cultivation of perennial berry crops contributes to the stabilization of carbon exchange (186–188 mg/m²/hour). This effect is achieved by minimizing mechanical disturbance of the soil structure and implementing drip irrigation, which prevents excessive drying of the peat. Mineral soils demonstrate significantly lower emission levels (132–151 mg/m²/hour); however, they also show a trend toward increasing CO₂ fluxes under intensive agricultural use.

The study proves that the implementation of adaptive landscape transformation models, such as the renaturalization of degraded peatlands and the expansion of perennial plantations, is a critical condition for carbon sequestration. The findings serve as a basis for developing sustainable land management strategies and increasing the ecological resilience of the region's agricultural landscapes in the context of global warming. These

results emphasize the necessity of balancing productive and environmental functions of agroecosystems to mitigate climate change impacts.

Keywords: carbon dioxide emissions; Western Polissia; reclaimed soils; climate change; carbon balance; drained soils; landscape adaptation.

Отримано / Received: 04.03.2026
Прийнято до друку / Accepted: 16.03.2026
Опубліковано / Published: 27.03.2026



УДК 631.423

<https://doi.org/10.31713/vs120264>

Гунчак М. В. [1; ORCID ID: 0000-0002-3521-8531],

к.с.-г.н., директор,

Паламарчук Р. П. [2; ORCID ID: 0000-0002-5965-1305],

в.о. генерального директора,

Пасічняк В. І. [3; ORCID ID: 0000-0002-4144-261X],

директор,

Грищенко О. М. [2; ORCID ID: 0000-0002-1241-7183],

к.с.-г.н., учений секретар

¹Чернівецький регіональний центр державної установи «Інститут охорони ґрунтів України», м. Чернівці

²Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ

³Південно-Західний міжрегіональний центр державної установи «Інститут охорони ґрунтів України», с. Агрономічне Вінницької обл.

СТАН РОДЮЧОСТІ ҐРУНТІВ ГІРСЬКОЇ ЗОНИ ЧЕРНІВЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

Наведено основні показники родючості ґрунту за результатами проведення агрохімічного обстеження земель сільськогосподарського призначення гірської зони Чернівецької області у XI турі (2018–2020 рр.). Встановлено, що за кислотністю ґрунтового розчину в гірській зоні області переважають сильнокислі землі (49,4%). Середньозважений показник рН сольове – 4,6. За рівнем забезпечення гумусу переважають ґрунти з підвищеним його вмістом (90,4%), а середньозважений уміст гумусу по гірській зоні області становить 3,6%. За вмістом азоту, що легко гідролізується, найбільше земель мають низький його вміст (81,9%). Середньозважений показник умісту азоту, що легко гідролізується, становить 137,2 мг/кг ґрунту. В гірській зоні Чернівецької області переважають землі з низьким вмістом рухомих сполук фосфору (67,5%), а середньозважений показник умісту рухомих сполук фосфору становить 27,9 мг/кг. За вмістом рухомих сполук калію переважають землі з низьким його вмістом (77,1%), за середньозваженого показника 30,1 мг/кг ґрунту. Встановлено, що в районах гірської зони Чернівецької області найбільшу площу займають ґрунти низької якості (61,5%), а середньозважена оцінка якості становить 38. Здійснено порівняння якісної оцінки ґрунтів гірської зони Чернівецької області за X (2013–2015 рр.) та XI тури (2018–2020 рр.) агрохімічних обстежень. Результатами встановлено, що якісна оцінка стану ґрунтів гірської зони погіршилася.

Ключові слова: моніторинг; агроекологічне обстеження; кислотність; бал бонітету; якісна оцінка ґрунтів.

Постановка проблеми. Суттєвою проблемою в аграрній галузі України є раціональне використання та збереження ґрунтових ресурсів, оскільки через недостатнє застосування мінеральних і органічних добрив, а також недотримання науково обґрунтованих сівозмін відбуваються процеси виснаження й деградації ґрунтів [1]. З метою державного моніторингу змін показників еколого-агрохімічного стану ґрунтів, а також для збереження і відтворення їх родючості на землях сільськогосподарського призначення проводиться еколого-агрохімічна паспортизація земель [2]. Інформація про еколого-агрохімічний стан ґрунтів і їх якісну оцінку дає змогу визначити потенційну родючість земель, планувати заходи з їх раціонального використання та запобігати процесам виснаження і деградації ґрунтів [3–5]. За результатами досліджень XI туру досліджень (2018–2020 рр.) встановлено агрохімічну та еколого-агрохімічну оцінки ґрунтів гірської зони Чернівецької області.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За даними Балаєва А. Д. та ін., нині значну частину рослинницької продукції в Україні отримують завдяки інтенсивній експлуатації ґрунтових ресурсів, насамперед чорноземів. За відсутності змін у підходах до землеробства відбуватиметься поступове погіршення їх стану та деградація. У зв'язку з цим необхідно впроваджувати ґрунтозберігаючі технології, оскільки перевищення критичної межі погіршення показників може призвести до втрати ґрунтами їхньої родючості [6].

Стан ґрунтових ресурсів України свідчить про складну ситуацію, оскільки на великих площах родючих ґрунтів спостерігаються деградаційні процеси. Погіршення їх якості зумовлене застосуванням інтенсивних технологій обробітку, порушенням науково-обґрунтованих сівозмін, а також недосконалою організацією господарських відносин в аграрній сфері. В Україні спостерігається реальна загроза виснаження ґрунтового покриву та активізації деградаційних процесів, таких як дегуміфікація, підкислення, водна ерозія, дефляція та переущільнення, які виникають через недотримання або спрощення технологій обробітку ґрунту [7–8].

Балюк С. А. зі співавторами зазначають, що основною передумовою сталого управління ґрунтовими ресурсами України є отримання актуальної та об'єктивної інформації про їх якісний стан, а

одним з основних джерел інформації про стан ґрунтового покриву є моніторинг ґрунтів [9].

Булигін С. Ю. та ін. вказують, що для вирішення завдань відновлення родючості ґрунтів необхідні дані про якісний стан земель. Показники еколого-агрохімічної оцінки застосовують для прогнозування та своєчасного попередження деградаційних процесів, а також для забезпечення охорони і раціонального використання земельних ресурсів [10–11].

Мета і завдання дослідження. Метою досліджень було обстеження земель сільськогосподарського призначення та здійснення комплексної якісної оцінки агроекологічного стану ґрунтів гірської зони Чернівецької області за XI тур досліджень (2018–2020 роки).

Чернівецьким регіональним центром державної установи «Інститут охорони ґрунтів України» проведено дослідження ґрунтів гірської зони Чернівецької області по визначенню реакції ґрунтового розчину, вмісту гумусу, азоту, що легко гідролізується, рухомих сполук фосфору, калію, сірки, бору, марганцю, міді, цинку, кобальту та молібдену [12–16]. Дослідження проводилися за методами, визначеними Методикою проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення [17].

У 2018–2020 роках Чернівецьким регіональним центром державної установи «Інститут охорони ґрунтів України» було обстежено 8,3 тис. га земель сільськогосподарського призначення гірської зони Чернівецької області у Путильському та частині Вижницького районів. Особливістю досліджень у гірській зоні є те, що обстеження проводилися на пасовищах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Реакція ґрунтового розчину є одним із ключових чинників, що визначає ріст і розвиток рослин та ґрунтових мікроорганізмів, адже за надто кислого або лужного середовища багато елементів засвоюються гірше. Інформація про кислотність ґрунтового розчину дає змогу своєчасно проводити заходи меліорації ґрунту, підтримуючи його родючість. У зв'язку з цим особливо важливим є отримання точної інформації щодо рівня кислотності ґрунту [3].

За результатами досліджень кислотності ґрунтового розчину (рН сольове) обстежені площі гірської зони Чернівецької області розподіляються наступним чином: дуже сильнокислі з рН менше 4,0 відсутні, сильнокислих земель з рН 4,1–4,5 – 4,1 тис. га (49,4%), середньокислих з рН 4,6–5,0 – 0,8 тис. га (9,6%), слабокислих з рН 5,1–5,5 – 3,4 тис. га (41,0%). Загальна площа кислих земель становить 8,3 тис. га (100,0%). Близькі до нейтральних, нейтральні та лужні

ґрунти у даній зоні відсутні. Середньозважений показник $pH_{\text{сол}}$ 4,6, що відповідає середньоокислій реакції ґрунтового розчину.

В порівнянні із попереднім туром обстеження середньозважений показник pH збільшився на 0,1 одиницю pH . Порівнюючи ступінь кислотності ґрунтів обстежених сільськогосподарських угідь гірської зони Чернівецької області за X та XI тури обстежень (табл. 1), варто зазначити, що загальна частка кислих земель збільшилася на 12,1%, а землі близькі до нейтральних у останньому турі обстежень відсутні. При цьому зросла частка слабокислих земель (на 26,2%) та зменшилася частка сильно- (на 10,3%) та середньоокислих (на 3,8%) земель.

Таблиця 1

Динаміка зміни реакції ґрунтового розчину обстежених ґрунтів гірської зони Чернівецької області у X–XI тури обстежень

Тур обстежень	Обстежена площа, тис. га	Площі ґрунтів за реакцією ґрунтового розчину, %					Середньозважений показник, $pH_{\text{сол}}$
		сильноокислі (pH 4,1–4,5)	середньоокислі (pH 4,6–5,0)	слабокислі (pH 5,1–5,5)	всього кислих (pH <4,1–5,5)	близькі до нейтральних (pH 5,6–6,0)	
X тур (2013–2015 рр.)	14,9	59,7	13,4	14,8	87,9	12,1	4,5
XI тур (2018–2020 рр.)	8,3	49,4	9,6	41,0	100,0	-	4,6

Гумус є основним джерелом поживних речовин для рослин і сприяє їх поступовому та рівномірному надходженню, а також є енергетичним джерелом для ґрунтових мікроорганізмів та стимулює біологічні процеси. Тому інформація про вміст гумусу є ключовою для оцінки якості ґрунту та прийняття обґрунтованих агротехнічних рішень [4–5].

За досліджуваний період обстежені землі гірської зони Чернівецької області за умістом гумусу розподілилися наступним чином (табл. 2): з дуже низьким умістом гумусу – відсутні, із низьким – 0,3 тис. га (3,6%), з середнім – 0,5 тис. га (6,0%), із підвищеним – 7,5 тис. га (90,4%). Ґрунти з високим та з дуже високим умістом гумусу у даній зоні відсутні. Середньозважений уміст гумусу по районах гірської зони Чернівецької області становить 3,6%. У порівнянні з попереднім туром

обстеження середньозважених уміст гумусу не змінився, проте спостерігається збільшення на 25,1% площ ґрунтів з підвищеним вмістом гумусу, за відсутності в останньому турі обстежень ґрунтів з високим його вмістом.

Таблиця 2

Агрохімічна характеристика обстежених ґрунтів гірської зони Чернівецької області за вмістом гумусу у X–XI турі обстежень

Тур обстежень	Обстежена площа, тис. га	Площі ґрунтів за вмістом гумусу, %				Середньозважений показник, %
		низький (1,1–2,0%)	середній (2,1–3,0%)	підвищений (3,1–4,0%)	високий (4,1–5,0%)	
X тур (2013–2015 рр.)	14,9	3,6	9,1	65,3	22,0	3,6
XI тур (2018–2020 рр.)	8,3	3,6	6,0	90,4	-	3,6

Знання інформації про вміст азоту в ґрунті є надзвичайно важливим, оскільки азот належить до основних елементів живлення рослин, входить до складу білків, амінокислот і хлорофілу, тому безпосередньо впливає на інтенсивність росту рослин. Інформація про вміст азоту у ґрунті дозволяє точно розрахувати норми азотних добрив і уникнути як дефіциту, так і надлишку [3–5].

За умістом азоту, що легко гідролізується, площа обстежених земель гірської зони Чернівецької області розподіляється наступним чином: ґрунти з дуже низьким умістом азоту відсутні, із низьким – 6,8 тис. га (81,9%), із середнім – 1,5 тис. га (18,1%). Ґрунти з підвищеним, високим та дуже високим умістом азоту, що легко гідролізується, у цій зоні відсутні. Середньозважений показник умісту азоту, що легко гідролізується, за звітний період становить 137,2 мг/кг ґрунту. При порівнянні з попереднім туром обстеження середньозважений показник умісту азоту, що легко гідролізується, за звітний період зменшився на 17,5 мг/кг, при зменшенні на 14,2% ґрунтів з середнім вмістом азоту та збільшенні на 25,9% ґрунтів з низьким вмістом азоту (табл. 3).

Таблица 3

Агрохімічна характеристика обстежених ґрунтів гірської зони Чернівецької області за умістом азоту, що легко гідролізується, у X–XI турі обстежень

Тур обстежень	Обстежена площа, тис. га	Площі ґрунтів за умістом азоту, що легко гідролізується, %				Середньозважений показник, мг/кг
		дуже низький (<101 мг/кг)	низький (101–150 мг/кг)	середній (151–200 мг/кг)	підвищений (>200 мг/кг)	
X тур (2013–2015 рр.)	14,9	3,6	56,0	32,3	8,1	154,7
XI тур (2018–2020 рр.)	8,3	-	81,9	18,1	-	137,2

Фосфор є одним з основних елементів живлення рослин і показників родючості ґрунту. Оптимальний вміст фосфору сприяє кращому засвоєнню інших елементів (азоту, калію), підвищенню стійкості рослин до хвороб і стресів, формуванню повноцінного врожаю [3–4].

За результатами агрохімічного обстеження землі сільськогосподарського призначення гірської зони Чернівецької області за умістом рухомих сполук фосфору розподіляються наступним чином: з дуже низьким умістом – 2,4 тис. га (28,9%), із низьким умістом – 5,6 тис. га (67,5%), із середнім – 0,3 тис. га (3,6%). Ґрунти з підвищеним, високим та дуже високим умістом рухомих сполук фосфору у даній зоні відсутні. Середньозважений показник умісту рухомих сполук фосфору становить 27,9 мг/кг. В порівнянні з попереднім туром обстеження середньозважений показник умісту рухомих сполук фосфору збільшився на 6,9 мг/кг, при зменшенні площ ґрунтів з дуже низьким вмістом даного макроелементу (на 9,7%) та збільшенні ґрунтів з низьким його вмістом (на 10,5%) (табл. 4).

Таблиця 4

Агрохімічна характеристика обстежених ґрунтів гірської зони
Чернівецької області за умістом рухомих сполук фосфору у
X–XI турі обстежень

Тур обстежень	Обстежена площа, тис. га	Площі ґрунтів за умістом рухомих сполук фосфору, %			Середньозважений показник, мг/кг
		дуже низький (<26 мг/кг)	низький (26-50 мг/кг)	середній (51-100 мг/кг)	
X тур (2013–2015 рр.)	14,9	38,6	57,0	4,4	21,0
XI тур (2018–2020 рр.)	8,3	28,9	67,5	3,6	27,9

Калій є одним з найважливіших елементів живлення рослин, адже він бере участь у фотосинтезі, водному балансі, синтезі вуглеводів, підвищує стійкість рослин до посухи, морозів і хвороб. За достатнього вмісту калію покращується налив зерна і плодів, підвищується вміст цукрів і крохмалю, а також покращується лежкість і транспортабельність урожаю [5].

Результатами агрохімічного обстеження встановлено, що землі сільськогосподарського призначення гірської зони Чернівецької області за умістом рухомих сполук калію розподіляються наступним чином: з дуже низьким умістом та низьким умістом – відсутні. Із середнім умістом – 6,4 тис. га (77,1%), з підвищеним – 1,9 тис. га (22,9%). Ґрунти з високим та дуже високим умістом рухомих сполук калію у цій зоні відсутні. Середньозважений показник умісту рухомих сполук калію становить 30,1 мг/кг. Порівняно з попереднім туром обстеження середньозважений показник умісту рухомих сполук калію збільшився на 3,7 мг/кг, за умови збільшення площ ґрунтів з низьким його вмістом на 22,1% та зменшення ґрунтів з середнім вмістом на 1,9%. Ґрунти з дуже низьким та підвищеним вмістом рухомих сполук калію у останньому турі відсутні (табл. 5).

Таблиця 5

Агрохімічна характеристика обстежених ґрунтів гірської зони
Чернівецької області за умістом рухомих сполук калію у
Х–ХІ турі обстежень

Тур обстежень	Обстежена площа, тис. га	Площі ґрунтів за умістом рухомих сполук калію, %				Середньозважений показник, мг/кг
		дуже низький (<20 мг/кг)	низький (21-40 мг/кг)	середній (41-80 мг/кг)	підвищений (81-120 мг/кг)	
Х тур (2013–2015 рр.)	14,9	14,1	55,0	24,8	6,1	26,4
ХІ тур (2018–2020 рр.)	8,3	-	77,1	22,9	-	30,1

За результатами агрохімічного обстеження земель сільськогосподарського призначення встановлено, що за вмістом рухомих сполук сірки у гірській зоні Чернівецької області переважають ґрунти з високим її умістом (56,7%), за середньозваженого показника 12,2 мг/кг. За умістом рухомих сполук бору переважають ґрунти з дуже високим його умістом (94,0%), а середньозважений показник умісту рухомих сполук бору становить 0,9 мг/кг. За умістом рухомих сполук марганцю ґрунти переважно забезпечені підвищеним його вмістом (69,9%), за середньозваженого показника 13,5 мг/кг. За умістом рухомих сполук міді переважають ґрунти з дуже високим вмістом (95,2%), а середньозважений показник становить 0,7 мг/кг. За вмістом рухомих сполук цинку 100% ґрунтів мають дуже низьку забезпеченість мікроелементом, при середньозваженому показнику 0,6 мг/кг. За умістом рухомих сполук кобальту найбільше ґрунтів мають дуже високий його вміст (89,2%), за середньозваженого показника 0,8 мг/кг. За умістом рухомих сполук молібдену переважають ґрунти із середнім його вмістом (65,1%), а середньозважений показник становить 0,12 мг/кг.

Дані про еколого-агрохімічний стан ґрунтів є основою для збереження їхньої родючості, підвищення врожайності, екологічної безпеки та сталого використання земельних ресурсів. Ця інформація є важливою при визначенні потреби в мінеральних і органічних добривах, розрахунку оптимальних норм їх внесення та необхідності проведення заходів меліорації ґрунту [3–5], тому було встановлено

агрохімічну та еколого-агрохімічну оцінку ґрунтів гірської зони Чернівецької області за XI тур досліджень (2018–2020 рр.).

Згідно з розподілом за шкалою якості 0,9 тис. га (10,8%) обстежених земель сільськогосподарського призначення гірської зони Чернівецької області належать до V класу земель середньої якості, а до VI класу середньої якості – 2,3 тис. га (27,7%). До VII класу низької якості ґрунтів належать 3,0 тис. га (36,1%) земель та до VIII класу низької якості – 2,1 тис. га (25,4%). Середній бал по гірській зоні Чернівецької області 38, що відповідає VII класу земель низької якості.

Таблиця 6

Якісна оцінка ґрунтів гірської зони Чернівецької області у
X–XI турі обстежень

Тур обстежень	Обстежена площа, тис. га	Площі ґрунтів за якісною оцінкою ґрунтів, %					Середньозважений показник
		Високої якості (бали)	Середньої якості (бали)		Низької якості (бали)		
			IV клас 70–61	V клас 60–51	VI клас 50–41	VII клас 40–31	
X тур	14,9	4,7	8,1	34,2	49,7	3,3	42
XI тур	8,3	-	10,8	27,7	36,1	25,4	38

Порівняно із попереднім туром еколого-агрохімічного обстеження середній бал по гірській зоні області зменшився з 42 до 38, що пов'язано зі зменшенням вмісту азоту, що легко гідролізується, та зменшенням вмісту мікроелементів. Варто зазначити, що у останньому турі обстежень відсутні ґрунти високої якості, відбулося зменшення ґрунтів середньої якості (на 3,8%) та збільшення ґрунтів низької якості (на 8,5%).

Висновки. Результатами агрохімічних обстежень земель сільськогосподарського призначення гірської зони Чернівецької області встановлено, що за кислотністю ґрунтового розчину переважають сильнокислі землі (49,4%). За рівнем забезпечення гумусу переважають ґрунти з підвищеним його вмістом (90,4%), за середньозваженого показника 3,6%. За вмістом азоту, що легко гідролізується, переважають ґрунти з низьким його вмістом (81,9%), а середньозважений показник забезпеченості азотом становить 137,2 мг/кг ґрунту. В гірській зоні Чернівецької області переважають землі з низьким вмістом рухомих сполук фосфору (67,5%), а середньозважений вміст цього елемента складає 27,9 мг/кг ґрунту. За

вмістом рухомих сполук калію переважають ґрунти з низьким його вмістом (77,1%), за середньозваженого показника 30,1 мг/кг ґрунту. Встановлено, що в гірській зоні Чернівецькій області найбільшу площу займають ґрунти низької якості: землі VII класу якості (36,1%) та VIII класу якості (25,4%). В середньому сільськогосподарські угіддя гірської зони Чернівецької області за шкалою агроекологічної оцінки мають 38 балів, що відповідає VII класу земель низької якості. Результати порівняння якісної оцінки ґрунтів гірської зони Чернівецької області свідчать, що стан ґрунтів в порівнянні з попереднім туром агрохімічних обстежень погіршився.

1. Грищенко О. М., Запасний В. С., Ярмоленко Є. В., Шило Л. Г. Динаміка родючості ґрунтів Переяслав-Хмельницького району Київської області. *Агроекологічний журнал*. 2019. № 3. С. 35–41. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2019.183469>.
2. Про охорону земель : Закон України від 19.06.2003 № 962-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text>. (дата звернення: 10.02.2026).
3. Зайцев Ю. О., Гунчак М. В., Романова С. А. Стан родючості ґрунтів Чернівецької області. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 4. С. 66–75. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2022.273250>.
4. Гунчак М. В., Пасічняк В. І., Грищенко О. М., Колесник Т. М. Стан родючості ґрунтів лісостепової зони Чернівецької області. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сер. Сільськогосподарські науки*. 2025. Вип. 2 (110). С. 80–93. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs220256>.
5. Гунчак М. В., Паламарчук Р. П., Пасічняк В. І. Стан родючості ґрунтів передгірської зони Чернівецької обл. *Агроекологічний журнал*. 2025. № 2. С. 100–108. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2025.333829>.
6. Балаєв А. Д., Ковальчук О. П., Гаврилук М. В., Стопа В. П. Родючість ґрунтів Лісостепу України за різної інтенсивності їх використання. *Наукові праці*. 2011. № 140 (152). С. 63–65. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npchdue_2011_152_140_16. (дата звернення: 10.02.2026).
7. Бережняк Є. М., Бережняк М. Ф., Іваніна Д. А. Оцінка екологічної стійкості сірих лісових ґрунтів за різного використання. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2020. № 11(1). С. 52–61. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/agr2020.01.052>.
8. Яцук І. П., Моклячук Л. І., Ліщук А. М., Романова С. А. Інноваційний розвиток сільського господарства за використання індикаторів «зеленого зростання». *Агроекологічний журнал*. 2019. № 2. С. 6–16. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2019.174011>.
9. Балюк С. А., Мірошніченко М. М., Медведєв В. В. Наукові засади сталого управління ґрунтовими ресурсами України. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 11. С. 5–12. DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk201811-01>.
10. Булігін С. Ю., Вітвіцький С. В., Кучер Л. І., Вітвіцька О. І. Концепція оцінки якості та охорони земель в Україні. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2020. № 11 (2). С. 30–38. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/agr2020.02.030>.
11. Балюк С. А., Медведєв В. В., Воротинцева Л. І., Шимель В. В. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 8. С. 5–11. DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk201708-01>.
12. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту.

Відбирання проб. [Чинний від 2005–07–01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 10 с. **13.** ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини. [Чинний від 2005–07–01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 9 с. **14.** ДСТУ ISO 10390:2007. Якість ґрунту. Визначення рН (62879). [Чинний від 2009–10–01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 8 с. **15.** ДСТУ 7863:2015. Визначення легкогідролізованого азоту методом Корнфілда. Якість ґрунту. [Чинний від 2016–07–01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2015. 12 с. **16.** ДСТУ 4115:2002. Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова. [Чинний від 2003–01–01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 9 с. **17.** Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення : керівний нормативний документ / за ред. Яцука І. П., Балюка С. А. 2-ге вид., допов. Київ, 2019. 108 с.

REFERENCES:

1. Hryshchenko O. M., Zapasnyi V. S., Yarmolenko Ye. V., Shylo L. H. Dynamika rodiuchosti gruntiv Pereiaslav-Khmelnitskoho raionu Kyivskoi oblasti. *Ahroekologichnyi zhurnal*. 2019. № 3. S. 35–41. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2019.183469>.
2. Pro okhoronu zemel : Zakon Ukrainy vid 19.06.2003 № 962-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text>. (data zvernennia: 10.02.2026).
3. Zaitsev Yu. O., Hunchak M. V., Romanova S. A. Stan rodiuchosti gruntiv Chernivetskoï oblasti. *Ahroekologichnyi zhurnal*. 2022. № 4. S. 66–75. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2022.273250>.
4. Hunchak M. V., Pasichniak V. I., Hryshchenko O. M., Kolesnyk T. M. Stan rodiuchosti gruntiv lisostepovoi zony Chernivetskoï oblasti. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Ser. Silskohospodarski nauky*. 2025. Vyp. 2 (110). S. 80–93. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs220256>.
5. Hunchak M. V., Palamarchuk R. P., Pasichniak V. I. Stan rodiuchosti gruntiv peredhirskoi zony Chernivetskoï obl. *Ahroekologichnyi zhurnal*. 2025. № 2. S. 100–108. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2025.333829>.
6. Balaiev A. D., Kovalchuk O. P., Havryliuk M. V., Stopa V. P. Rodiuchist gruntiv Lisostepu Ukrainy za riznoi intensyvnosti yikh vykorystannia. *Naukovi pratsi*. 2011. № 140 (152). S. 63–65. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npchdue_2011_152_140_16. (data zvernennia: 10.02.2026).
7. Berezhniak Ye. M., Berezhniak M. F., Ivanina D. A. Otsinka ekolohichnoi stiikosti sirykh lisovykh gruntiv za riznoho vykorystannia. *Roslynnystvo ta gruntoznavstvo*. 2020. № 11(1). S. 52–61. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/agr2020.01.052>.
8. Yatsuk I. P., Mokliachuk L. I., Lishchuk A. M., Romanova S. A. Innovatsiyni rozvytok silskoho hospodarstva za vykorystannia indykatoriv «zelenoho zrostantnia». *Ahroekologichnyi zhurnal*. 2019. № 2. S. 6–16. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2019.174011>.
9. Baliuk S. A., Miroshnychenko M. M., Medvediev V. V. Naukovi zasady staloho upravlinnia gruntovymy resursamy Ukrainy. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2018. № 11. S. 5–12. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811-01>.
10. Bulyhin S. Yu., Vitvitskyi S. V., Kucher L. I., Vitvitska O. I. Kontseptsiiia otsinky yakosti ta okhorony zemel v Ukraini. *Roslynnystvo ta gruntoznavstvo*. 2020. № 11 (2). S. 30–38. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/agr2020.02.030>.
11. Baliuk C. A., Medvediev V. V., Vorotyntseva L. I., Shymel V. V. Suchasni problemy dehradatsii gruntiv i zakhody shchodo dosiahnennia neitralnoho yii rivnia. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2017. № 8. S. 5–11. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201708-01>.
12. DSTU 4287:2004. Yakist ґрунту. Vidbyrannia prob. [Chynnyi vid 2005–07–01]. Vyd. ofits. Kyiv : Derzhspozhyvstandart

Ukrainy, 2005. 10 s. **13**. DSTU 4289:2004. Yakist gruntu. Metody vyznachannia orhanichnoi rehovyny. [Chynnyi vid 2005–07–01]. Vyd. ofits. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2005. 9 s. **14**. DSTU ISO 10390:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia rN (62879). [Chynnyi vid 2009–10–01]. Vyd. ofits. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2007. 8 s. **15**. DSTU 7863:2015. Vyznachennia lehkohidrolizovanoho azotu metodom Kornfilda. Yakist gruntu. [Chynnyi vid 2016–07–01]. Vyd. ofits. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2015. 12 s. **16**. DSTU 4115:2002. Grunty. Vyznachennia rukhomykh spoluk fosforu i kaliu za modyfikovanyim metodom Chyrykova. [Chynnyi vid 2003–01–01]. Vyd. ofits. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2002. 9 s. **17**. Metodyka provedennia ahrokhimichnoi pasportyzatsii zemel silskohospodarskoho pryznachennia : kerivnyi normatyvnyi dokument / za red. Yatsuka I. P., Baliuka S. A. 2-he vyd., dopov. Kyiv, 2019. 108 s.

Hunchak M. V. [1; ORCID ID: 0000-0002-3521-8531],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Director,

Palamarchuk R. P. [2; ORCID ID: 0000-0002-5965-1305],

Acting General Director,

Pasichniak V. I. [3; ORCID ID: 0000-0002-4144-261X],

Director,

Hryshchenko O. M. [2; ORCID ID: 0000-0002-1241-7183],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Scientific secretary

¹*Chernivtsi regional center of the State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine», Chernivtsi*

²*State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine», Kyiv*

³*South-Western Interregional Center of the State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine», village Agronomichne, Vinnytsia region*

SOIL FERTILITY STATE OF THE MOUNTAIN ZONE OF CHERNIVTSI REGION

The main indicators of soil fertility are presented based on the results of an agrochemical survey of agricultural lands in the mountainous zone of Chernivtsi region in the XI round of surveys (2018–2020). It was established that strongly acidic soils (49.4%) prevail in the mountainous zone of the region in terms of soil solution acidity. The average weighted saline pH is 4.6, which corresponds to an average acidic reaction of the soil solution. In terms of humus content, soils with an increased content prevail (90.4%) and the average weighted humus content in the mountainous zone of the region is 3.6%, which corresponds to an increased level. In terms of easily hydrolyzable nitrogen content, the most lands have a low content (81.9%). The average

weighted indicator of the easily hydrolyzable nitrogen content is 137.2 mg/kg of soil, which corresponds to a low supply of this element. In the mountainous zone of Chernivtsi region, lands with a low content of mobile phosphorus compounds (67.5%) prevail, and the weighted average content of mobile phosphorus compounds is 27.9 mg/kg, which corresponds to low availability. In terms of the content of mobile potassium compounds, lands with a low content (77.1%) prevail, with a weighted average of 30.1 mg/kg of soil, which corresponds to low availability of this element. The soils of the mountainous zone of Chernivtsi region are provided with mobile sulfur compounds at a high level (12.2 mg/kg), with a very high level of mobile boron compounds (0.9 mg/kg), cobalt (0.8 mg/kg) and copper (0.7 mg/kg), have an average level of mobile molybdenum compounds (0.12 mg/kg), an increased level of mobile manganese compounds (13.5 mg/kg) and a very low level of mobile zinc compounds (0.6 mg/kg). It was established that in the areas of the mountainous zone of Chernivtsi region, the largest area is occupied by low-quality soils (61.5%), and the weighted average quality score is 38. A comparison of the qualitative assessment of soils of the mountainous zone of Chernivtsi region was carried out according to the X (2013–2015) and XI rounds (2018–2020) of agrochemical surveys. The results showed that the qualitative assessment of the condition of the soils of the mountain zone deteriorated (-4 points).

Keywords: monitoring; agroecological survey; acidity; soil quality score; qualitative assessment of soils.

Отримано / Received: 23.02.2026
Прийнято до друку / Accepted: 9.03.2026
Опубліковано / Published: 27.03.2026



© 2026 [Hunchak M. V., Palamarchuk R. P., Pasichniak V. I., Hryshchenko O. M.] Licensee {NUWEE}. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org)

Зосимчук М. Д. [1; ORCID ID: 0000-0002-7162-8300],

к.с.-г.н., заступник директора з наукової роботи,

Поліщук О. С. [2; ORCID ID: 0009-0002-8831-0662],

аспірант

¹*Сарненська дослідна станція Інституту водних проблем і меліорації НААН України,
м. Сарни*²*Інститут водних проблем і меліорації НААН України, м. Київ*

ГОСПОДАРСЬКА ТА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВИРОЩУВАННЯ СОЇ В ЗОНІ ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ УКРАЇНИ НА РІЗНИХ ТИПАХ ҐРУНТІВ

Висвітлено результати експериментальних досліджень з встановлення можливості та доцільності вирощування сої на різних типах ґрунтів в зоні Західного Полісся. Встановлено, що при вирощуванні на дерново-підзолистих легкосуглинкових ґрунтах за внесення повного мінерального удобрення в нормі $N_{60}P_{60}K_{60}$ і застосуванні фосформобілізуючого препарату Райс Пі та мікробного інокулянту азотфіксуючої дії Різофікс урожайність сої ультрараннього сорту Юнка канадської селекції (Sevita Genetics) становить – 4,03 т/га. На торфових ґрунтах за внесення повного мінерального удобрення в нормі $N_{35}P_{60}K_{90}$ і застосуванні фосформобілізуючого препарату Райс Пі та мікробного інокулянту азотфіксуючої дії Різофікс урожайність сої становила – 2,61 т/га. Нижча, порівняно з дерново-підзолистими ґрунтами, урожайність пояснюється менш сприятливим гідротермічним режимом на торфових ґрунтах. Основним обмежуючим фактором, що обмежує вирощування сої на торфових ґрунтах, є коротший, порівняно з прилеглими дерново-підзолистими ґрунтами, безморозний період. Також торфові ґрунти, через високий вміст вологи та низьку теплопровідність, належать до холодних ґрунтів, що сповільнює ріст і розвиток сої порівняно з прилеглими дерново-підзолистими ґрунтами. Загалом питання вирощування сої в умовах торфових ґрунтів потребує подальшого комплексного вивчення. Встановлено, що за вирощування сої на полі з побічною продукцією 5,84 т/га повертається в ґрунт – 26 кг/га азоту, 19 кг/га фосфору та 84 кг/га калію. На торфових ґрунтах за вирощування сої на полі з побічною продукцією 4,34 т/га повертається в ґрунт – 20 кг/га азоту, 15 кг/га фосфору та 63 кг/га калію. За умови проведення якісної інокуляції за вирощування сої на дерново-підзолистих ґрунтах накопичується до 122 кг/га симбіотичного азоту та 105 кг/га на торфових ґрунтах, що

рівноцінно 300–350 кг/га аміачної селітри. Цієї кількості азоту цілком достатньо для забезпечення потреби цим елементом живлення наступної культури у сівозміні.

Ключові слова: дерново-підзолисті ґрунти; торфові ґрунти; система удобрення; фосформобілізуючий препарат; мікробний інокулянт; побічна рослинницька продукція.

Постановка проблеми. В останні роки в структурі посівних площ України основну частину займають декілька економічно привабливих сільськогосподарських культур таких, як соняшник, кукурудза на зерно, озима пшениця, соя, озимий ріпак. Основною причиною цього є стабільний попит на таку продукцію на міжнародних ринках, тому з високою ймовірністю вищенаведені сільськогосподарські культури й надалі будуть домінувати на українських полях [1–2].

Завдяки сучасним кліматичним змінам, а саме суттєвому підвищенню теплозабезпеченості вегетаційного періоду, вищевказані нетрадиційні для зони Західного Полісся сільськогосподарські культури набувають дедалі більшого поширення у виробництві, витісняючи традиційні для цього регіону культури – озиме жито, овес, гречка, картопля, одно- та багаторічні трави [1; 3].

Серед нових для поліського регіону економічно-привабливих культур, саме соя на сьогодні займає менші площі порівняно з соняшником і кукурудзою. Однією з основних причин є її нижча продуктивність в цьому регіоні, яка в середньому становить 1,5–2,0 тонни з 1 га, що не задовольняє вимоги сільгоспвиробників [4–5].

Науковими дослідженнями останніх років доведено, що урожайність сої за умови підбору найбільш адаптованих сортів та належної агротехніки в зоні Західного Полісся може бути, як мінімум подвоєна, що дозволить стверджувати про економічну доцільність її вирощування [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Соя для зони Західного Полісся є новою культурою, оскільки вирощування її тут ще 10–15 років тому не практикували через недостатні теплові ресурси. У зв'язку із потеплінням клімату, що відбувається протягом останніх десятиліть, з'явилась можливість її вирощувати в цій ґрунтово-кліматичній зоні і вона має усі перспективи зайняти свою нішу серед інших сільськогосподарських культур [4; 6].

Ґрунтовий покрив зони Західного Полісся в основному представлений дерново-підзолистими ґрунтами, які мають низьку забезпеченість основними елементами живлення, тому вирощування

тут таких культур, як кукурудза та соняшник, вимагає внесення підвищених норм мінеральних добрив [7].

В умовах майже повної відсутності поголів'я ВРХ у зоні Полісся, основним джерелом поповнення органіки в ґрунті є побічна рослинницька продукція, а в умовах істотного здорожчання вартості мінеральних добрив, особливо азотних, одним із можливих джерел його поповнення в ґрунт є введення в сівозміни бобових культур, які здатні фіксувати азот з атмосфери [8–9].

Серед нових для зони Західного Полісся сільськогосподарських культур, які набули поширення в останні роки, саме соя здатна істотно покращити азотний режим ґрунту за майже повної відсутності у структурі посівних площ багаторічних бобових трав [10].

Завдяки здатності до симбіотичної азотфіксації та накопичення в ґрунті азоту соя вважається одним з кращих попередників для багатьох сільськогосподарських культур [11].

В Україні до останнього часу біологічному накопиченню азоту за рахунок різних форм азотфіксації приділялось недостатньо уваги, хоча біологічний азот – надійний фактор підтримання родючості ґрунту, економії азотних добрив і екологічної безпеки [12].

На думку багатьох відомих вчених-аграрників та біологів, підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва можливе лише за умови максимального накопичення біологічного азоту у ґрунті. Цей шлях поповнення запасу азоту, враховуючи економічні аспекти, є найперспективнішим [13–14].

Тому за нинішнього стану агропромислового виробництва проблема найповнішого використання біологічного азоту набуває особливого значення.

Мета, завдання та методика досліджень. Метою наших досліджень була господарська та екологічна оцінка вирощування сої за різних систем удобрення та варіантів застосування біопрепаратів на дерново-підзолистих та торфових ґрунтах зони Західного Полісся України.

Дослідження проводились на осушуваному торфоболотному масиві «Чемерне» Сарненської дослідної станції (Рівненська область). За морфологічними ознаками, ботанічним складом, водно-фізичними та агрохімічними властивостями цей масив є типовим для Західного Полісся – глибоким середньозольним не заплавленим гіпново-осоковим болотом низинного типу. Крім торфових ґрунтів, у землекористуванні

станції є також дерново-підзолисті легкосуглинкові ґрунти. Ці типи ґрунтів є одними з найбільш поширених в зоні Західного Полісся, тому одержані тут дані є репрезентативними для усього регіону. Ґрунти, як торфові так і дерново-підзолисті, мають слабокислу реакцію ґрунтового середовища (рН сол 4,6–5,0).

У польових дослідях на дерново-підзолистих та торфових ґрунтах вивчали продуктивність сорту Юнка канадської селекції (Sevita Genetics), вегетаційний період 85 днів, необхідна кількість теплових одиниць СНУ – 2350. Вивчалась ефективність різних систем удобрення, а також регуляторів росту рослинного походження, фосформобілізуючого препарату Райс Пі та мікробного інокулянту Різофікс.

Розмір дослідних ділянок у досліді 30 м², повторність – триразова, розміщення варіантів у досліді систематичне. Попередником сої на обох типах ґрунтів була кукурудза на зерно. На дерново-підзолистих ґрунтах вносили повне мінеральне удобрення в нормі N30P30K30 та N60P60K60. На торфових ґрунтах вносили повне мінеральне удобрення в нормі N35P60K90. Як на дерново-підзолистих, так і на торфових ґрунтах вивчали ефективність мікробного інокулянту азот фіксуючої дії Різофікс та фосформобілізуючого препарату Райс Пі. Також вивчались ефективність таких регуляторів росту рослин МНТЦ «Агробіотех», як Біосил, Стімпо, Регоплант. З метою нейтралізації підвищеної кислотності на дослідних ділянках проводилось вапнування в нормі 7 т/га СаСО₃.

Результати досліджень та обговорення. Аналіз погодних умов протягом періоду досліджень показує, що протягом квітня-вересня 2021 року випало – 309,5 мм, у 2022 р. – 244,3 мм, у 2023 р. – 233,3 мм, та у 2024 році – 304,0 мм, за середньобогаторічної норми 400 мм. Загалом відмічався дуже нерівномірний розподіл режиму випадання опадів протягом квітня-вересня. Середньомісячна температура повітря протягом квітня-вересня у 2021 році становила – 15,4° С, у 2022 р. – 15,2° С, у 2023 р. – 16,0° С, та у 2024 р. – 17,6 мм за середньобогаторічної норми – 14,6° С. Слід зазначити, що в останні роки відмічено стійку тенденцію до зменшення кількості опадів (особливо у літній період) на фоні підвищення середньодобової температури повітря.

В умовах потепління клімату лімітуючим фактором, що впливає на продуктивність сільськогосподарських культур є рівень їхнього вологозабезпечення. Рівні ґрунтових вод у середньому за трирічний період досліджень на дослідних ділянках коливались на дерново-

підзолистих ґрунтах в межах – 67–117 см та 56–111 см від поверхні ґрунту на торфових ґрунтах та в цілому були в близьких до оптимальних меж для нормального вологозабезпечення сої. Лише на кінець вегетації вони опускались нижче 100 см, однак на той момент урожай сої уже був сформованим.

Спостереження за динамікою вологозапасів показали, що протягом 2021–2024 рр. на дерново-підзолистих ґрунтах у шарі ґрунту 0–30 см вони були в межах 49,0–97,8 мм та у шарі ґрунту 0–50 см – 113,8–185,1 мм. На торфових ґрунтах вологозапаси у шарі ґрунту 0–30 см були в межах 113,8–181,5 мм, та у шарі ґрунту 0–50 см – 243,1–334,3 мм.

Результати проведених досліджень показують, що урожайність сої на дерново-підзолистих ґрунтах протягом чотирирічного періоду досліджень була вищою порівняно з торфовими ґрунтами (табл. 1).

Таблиця 1

Вихід побічної продукції та повернення елементів живлення в ґрунт за вирощування сої, середнє за 2021–2024 рр.

Варіант удобрення та біопрепарати	Урожайність, т/га		Надходження елементів живлення в ґрунт, кг/га		
	основна продукція	побічна продукція	N	P	K
дерново-підзолисті ґрунти					
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ (контроль)	2,61	3,89	17,9	13,2	56,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ +PPP (Біосил + Стімпо + Регоплант)	2,90	4,35	20,0	14,8	63,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ Райс Пі + Різофікс	3,19	4,85	22,3	16,5	70,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (стандарт)	3,54	5,31	24,4	18,1	77,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + PPP (Біосил + Стімпо + Регоплант)	3,70	5,52	25,3	18,8	80,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Райс Пі + Різофікс	4,03	5,84	26,8	19,8	84,6
NiP _{0,5}	0,114	0,147			
торфові ґрунти					
Без добрив (контроль)	1,55	2,55	11,7	8,7	37,0
PPP (Біосил + Стімпо + Регоплант)	1,70	2,77	12,7	9,4	40,1
Райс Пі + Різофікс	2,03	3,31	15,2	11,3	48,0

продовження табл. 1

N ₃₅ P ₆₀ K ₉₀ (стандарт)	2,23	3,59	16,5	12,2	52,1
N ₃₅ P ₆₀ K ₉₀ + PPP (Біосил + Біолан + Регоплант)	2,41	3,90	17,9	13,2	56,5
N ₃₅ P ₆₀ K ₉₀ + Райс Пі + Різофікс	2,61	4,34	19,9	14,7	62,9
HiP _{0,5}	0,083	0,096			

Проведені дослідження показали, що урожайність сої сорту Юнка за чотирирічний період досліджень на дерново-підзолистих легкосуглинкових коливалась у межах 2,61–4,03 т/га, водночас на торфових ґрунтах – 1,55–2,61 т/га. Найвищу урожайність на дерново-підзолистих ґрунтах одержано на варіанті внесення мінеральних добрив в нормі N₆₀P₆₀K₆₀ у поєднанні із застосуванням фосформобілізуючого препарату Райс Пі + мікробного інокулянту Різофікс. На торфових ґрунтах найвищу урожайність одержано на варіанті внесення мінеральних добрив у нормі N₃₅P₆₀K₉₀ у поєднанні із застосуванням фосформобілізуючого препарату Райс Пі + мікробного інокулянту Різофікс.

Нижча урожайність сої на торфових ґрунтах насамперед пов'язана із менш сприятливим гідротермічним режимом порівняно з прилеглими дерново-підзолистими ґрунтами. Так, на торфових ґрунтах відмічено коротший безморозний період ніж на прилеглих дерново-підзолистих ґрунтах. Через високий вміст вологи та низьку теплопровідність вони навесні значно повільніше прогріваються порівняно з дерново-підзолистими ґрунтами. Також торфовища розміщені на понижених елементах рельєфу, сюди стікає холодне повітря із суходолу, тому тут нижчі мінімальні нічні температури повітря, що сповільнює ріст і розвиток сої порівняно з дерново-підзолистими ґрунтами. Внаслідок цього рослини сої та інших культур висіяні в один день на обох типах ґрунтів в показниках росту і розвитку на торфових ґрунтах відстають на 10–14 днів порівняно з посівами на дерново-підзолистими ґрунтами.

Вихід побічної продукції за вирощування сої на дерново-підзолистих ґрунтах по варіантах удобрення становив 3,89–5,84 т/га на дерново-підзолистих ґрунтах та 2,55–4,34 т/га на торфових ґрунтах. Повернення елементів живлення в ґрунт з побічною продукцією становило: азоту – 17,9–26,8 кг/га, фосфору – 13,2–19,8 кг/га та калію – 56,4–84,6 кг/га.

Симбіотична ефективність сої залежно від варіанту удобрення та застосування біопрепаратів наведена в табл. 2.

Таблиця 2

Симбіотична ефективність сої залежно від варіанту удобрення та застосування біопрепаратів, середнє за 2021–2024 рр.

Варіант удобрення та біопрепарати	Маса сирих бульбочок		Маса біологічно фіксованого азоту, кг/га	Еквівалент аміачної селітри, кг/га
	на 1 рослині, грам	кг на 1 га		
дерново-підзолисті ґрунти				
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ (контроль)	0,35	217	49,7	146
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ +PPP (Біосил + Стімпо + Регоплант)	0,47	291	71,3	209
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ Райс Пі + Різофікс	0,56	363	118,0	401
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (стандарт)	0,53	333	82,0	221
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + PPP (Біосил + Стімпо + Регоплант)	0,68	441	88,0	258
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Райс Пі + Різофікс	0,94	498	122,0	359
Торфові ґрунти				
Без добрив (контроль)	0,25	152	35	102
PPP (Біосил + Стімпо + Регоплант)	0,33	204	50	146
Райс Пі + Різофікс	0,39	254	98	288
N ₃₅ P ₆₀ K ₉₀ (стандарт)	0,37	233	57	155
N ₃₅ P ₆₀ K ₉₀ + PPP (Біосил + Біолан + Регоплант)	0,48	309	76	222
N ₃₅ P ₆₀ K ₉₀ + Райс Пі + Різофікс	0,66	349	105	308

Отримані результати досліджень показали, що за вирощування сої на дерново-підзолистих ґрунтах маса біологічного азоту по варіантах удобрення в середньому за 2021–2024 рр. становила 49,7–122,0 кг/га та 35,0–105,0 кг/га на торфових ґрунтах. Найбільші показники накопичення біологічного азоту на дерново-підзолистих ґрунтах були на варіанті внесення повного мінерального удобрення N₆₀P₆₀K₆₀ + фосформобілізуючий препарат Райс Пі + інокулянт Різофікс

– 122,0 кг/га, що в перерахунку на аміачну селітру становить близько – 359 кг/га.

На торфових ґрунтах найбільші показники накопичення біологічного азоту були на варіанті внесення повного мінерального удобрення в нормі N₃₅P₆₀K₉₀ + фосформобілізуєчий препарат Райс Пі + інокулянт Різофікс – 105 кг/га, що в перерахунку на аміачну селітру становить близько 308 кг/га. Загалом встановлено значно нижчу ефективність інокуляції на посівах сої на торфових ґрунтах порівняно з дерново-підзолистими ґрунтами. Низька ефективність інокуляції за вирощування сої на торфових ґрунтах вочевидь пояснюється природно високою забезпеченістю азотом цих ґрунтів, або іншими факторами, що пригнічують процес.

Таким чином, за вирощування сої на полі з побічною продукцією близько 5,84 т/га повертається в ґрунт 26 кг/га азоту, 19 кг/га фосфору та 84 кг/га калію. За умови проведення якісної інокуляції при вирощуванні сої на дерново-підзолистих ґрунтах накопичується до 122 кг/га симбіотичного азоту, що рівноцінно 350 кг/га аміачної селітри. Такої кількості азоту цілком достатньо для одержання високого урожаю наступних культур сівозміни.

Висновки

1. Урожайність сої сорту Юнка канадської селекції (Sevita Genetics) за чотирирічний період досліджень на дерново-підзолистих легкосуглинкових коливалась у межах 2,61–4,03 т/га, а на торфових ґрунтах – 1,55–2,61 т/га. Найвищу урожайність на дерново-підзолистих ґрунтах одержано на варіанті внесення мінеральних добрив в нормі N₆₀P₆₀K₆₀ у поєднанні із застосуванням фосформобілізуєчого препарату Райс Пі + мікробного інокулянту Різофікс. На торфових ґрунтах найвищу урожайність одержано на варіанті внесення мінеральних добрив у нормі N₃₅P₆₀K₉₀ в поєднанні із застосуванням фосформобілізуєчого препарату Райс Пі + мікробного інокулянту Різофікс.

2. При вирощуванні сої на полі з побічною продукцією 5,84 т/га повертається в ґрунт до 26 кг/га азоту, 19 кг/га фосфору та 84 кг/га калію. За умови проведення якісної інокуляції насіння сої на дерново-підзолистих ґрунтах накопичується до 122 кг/га симбіотичного азоту, що рівноцінно 300–350 кг/га аміачної селітри, чого цілком достатньо для забезпечення потреб наступних культур сівозміни.

1. Рижук С. М., Савчук О. І., Мельничук А. О., Приймачук Т. Ю. Ефективність короткоротаційних сівозмін з економічно-привабливими культурами на осушуваних дерново-підзолистих ґрунтах. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 2 (827). С. 11–18. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202202-02>. 2. Тараріко Ю. О., Писаренко П. В., 56

Зосимчук М. Д., Сайдак Р. В., Сорока Ю. В., Лелявська Л. В. Культури Лісостепової зони на осушуваних ґрунтах Західного Полісся. *Вісник аграрної науки*. 2025. № 4. С. 15–24. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202504-02>. **3.** Воропай Г. В. Сільськогосподарське використання осушуваних земель гумідної зони України в умовах реформування аграрного сектору та змін клімату. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 11. С. 62–73. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202011-08>. **4.** Кириченко В. В., Рябуха. С. С., Козирева Л. Н., та ін. Соя : монографія / Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва. 2016. 361 с. **5.** Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур : підручник. 5-те вид., виправ., допов. Львів : НВФ «Українські технології», 2020. 806 с. **6.** Тараріко Ю. О., Зосимчук М. Д., Стецюк М. Г., Лукашук В. П., Сорока Ю. В. Перспективи вирощування сої в зоні Західного Полісся. *Меліорація і водне господарство*. 2022. № 2. С. 36–44. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202202-347>. **7.** Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Полісся і Західному регіоні України / ред. кол.: М. В. Зубець та ін. К. : Аграрна наука, 2010. 944 с. **8.** Тараріко Ю. О. Формування біоенергетичних агроєкосистем в зоні Полісся України : рекомендації. К. : ДІА, 2012. 248 с. **9.** Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В. та ін. Соя – культура унікальних можливостей. К. : Юнівест Медіа, 2016. 224 с. **10.** Каленська С. М. та ін. Біоенергетична оцінка елементів технології вирощування сої. *Наукові доповіді Наукового вісника Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2011. № 6 (28). С. 1–8. URL: http://www.nbu.gov.ua/ejournals/Nd/2011_6/11ksm.pdf. (дата звернення: 10.02.2026). **11.** Дідора В. Г., Ступницька О. С., Дідора Л. Д. Ефективність симбіотичної діяльності посівів сої в умовах Полісся України. *Вісник аграрної науки*. 2015. № 8. С. 56–60. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201508-11>. **12.** Паламарчук В. Д., Поліщук І. С., Каленська С. М., Єрмакова Л. М. Біологія та екологія сільськогосподарських рослин. Вінниця, 2013. 722 с. **13.** Зінченко О. І., Салатенко В. Н., Білоножка М. А. Рослинництво : підручник / за ред. О. І. Зінченка. Київ : Аграрна освіта, 2001. 591 с. **14.** Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В., Іванюк С. В. та ін. Соя : монографія. Вінниця : Діло, 2026. 400 с.

REFERENCES:

1. Ryzhuk S. M., Savchuk O. I., Melnychuk A. O., Prymachuk T. Yu. Efektyvnist korotkorotatsiinykh sivozmin z ekonomichno-pryvablyvymy kulturamy na osushuvanykh dernovo-pidzolyistykh hruntakh. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2022. № 2 (827). С. 11–18. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202202-02>. **2.** Tarariko Yu. O., Pysarenko P. V., Zosymchuk M. D., Saidak R. V., Soroka Yu. V., Leliavska L. V. Kultury Lisostepovoi zony na osushuvanykh hruntakh Zakhidnoho Polissia. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2025. № 4. С. 15–24. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202504-02>. **3.** Voropai H. V. Silskohospodarske vykorystannia osushuvanykh zemel humidnoi zony Ukrainy v umovakh reformuvannia ahrarnoho sektoru ta zmin klimatu. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2020. № 11. С. 62–73. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202011-08>. **4.** Kyrychenko V. V., Riabukha. S. S., Kozyreva L. N., ta in. Soia : monohrafiia / Instytut roslynyntstva im. V. Ya. Yurieva. 2016. 361 s. **5.** Lykhochvor V. V., Petrychenko V. F. Roslynyntstvo. Novi tekhnolohii vyroshchuvannia polovykh kultur : pidruchnyk. 5-te

vydannya, vyprav., dopov. Lviv : NVF «Ukrainski tekhnolohii», 2020. 806 s. **6.** Tarariko Yu. O., Zosymchuk M. D., Stetsiuk M. H., Lukashuk V. P., Soroka Yu. V. Perspektyvy vyroshchuvannya soi v zoni Zakhidnoho Polissia. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*. 2022. № 2. S. 36–44. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202202-347>. **7.** Naukovi osnovy ahropromysloвого vyrobnytstva v zoni Polissia i Zakhidnomu rehioni Ukrainy / red. kol.: M. V. Zubets ta in. K. : Ahrarna nauka, 2010. 944 s. **8.** Tarariko Yu. O. Formuvannya bioenerhetychnykh ahroekosystem v zoni Polissia Ukrainy : rekomendatsii. K. : DIA, 2012. 248 s. **9.** Petrychenko V. F., Lykhochvor V. V. ta in. Soia – kultura unikalnykh mozhlyvostei. K. : Yunivest Media, 2016. 224 s. **10.** Kalenska S. M. ta in. Bioenerhetychna otsinka elementiv tekhnolohii vyroshchuvannya soi. *Naukovi dopovidi Naukovoho visnyka Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy*. 2011. № 6 (28). S. 1–8. URL: http://www.nbu.gov.ua/ejournals/Nd/2011_6/11ksm.pdf. (data zvernennia: 10.02.2026). **11.** Didora V. H., Stupniatska O. S., Didora L. D. Efektyvnist symbiotychnoi diialnosti posiviv soi v umovakh Polissia Ukrainy. *Visnyk ahrarynoi nauky*. 2015. № 8. S. 56–60. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201508-11>. **12.** Palamarchuk V. D., Polishchuk I. S., Kalenska S. M., Yermakova L. M. Bioloheia ta ekoloheia silskohospodarskykh roslyn. Vinnytsia, 2013. 722 s. **13.** Zinchenko O. I., Salatenko V. N., Bilonozhko M. A. Roslynnytstvo : pidruchnyk / za red. O. I. Zinchenka. Kyiv : Ahrarna osvita, 2001. 591 s. **14.** Petrychenko V. F., Lykhochvor V. V., Ivaniuk S. V. ta in. Soia : monohrafiia. Vinnytsia : Dilo, 2026. 400 s.

Zosymchuk M. D. [1; ORCID ID: 0000-0002-7162-8300],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.),

Deputy Director for Scientific Work,

Polishchuk O. S. [2; ORCID ID: 0009-0002-8831-0662],

Post-graduate Student

¹Sarny Research Station of the Institute of Water Problems and Reclamation of the NAAS

²Institute of Water Problems and Reclamation of the NAAS

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF SOYBEAN GROWING IN THE WESTERN POLISSIA ZONE OF UKRAINE ON VARIOUS SOIL TYPES

The results of experimental studies to establish the possibility and feasibility of growing soybeans on different types of soils in the Western Polissya zone are highlighted. It was established that when grown on sod-podzolic light loam soils with the application of complete mineral fertilizer in the norm $N_{60}P_{60}K_{60}$ and the use of the phosphorus-mobilizing preparation Rice Pi and the microbial inoculant of nitrogen-fixing action Rhizofix, the yield of soybeans of the ultra-early variety Junka of Canadian selection (Sevita Genetics) is – 4,03 t/ha. On peat soils with the application of complete mineral fertilizer in the norm $N_{35}P_{60}K_{90}$ and the use of the phosphorus-mobilizing preparation Rice Pi and the microbial inoculant of nitrogen-fixing action Rhizofix, the yield of soybeans was – 2,61 t/ha. The lower yield compared to

sod-podzolic soils is explained by the less favorable hydrothermal regime on peat soils. The main limiting factor limiting soybean cultivation on peat soils is a shorter frost-free period compared to adjacent sod-podzolic soils. Also, peat soils, due to their high moisture content and low thermal conductivity, are cold soils, which slows down the growth and development of soybeans compared to adjacent sod-podzolic soils. In general, the issue of growing soybeans in peat soils requires further comprehensive study. It has been established that when soybeans are grown on a field with a by-product of 5,84 t/ha, 26 kg/ha of nitrogen, 19 kg/ha of phosphorus and 84 kg/ha of potassium are returned to the soil. On peat soils, when soybeans are grown on a field with a by-product of 4,34 t/ha, 20 kg/ha of nitrogen, 15 kg/ha of phosphorus and 63 kg/ha of potassium are returned to the soil. Provided that high-quality inoculation is carried out, up to 122 kg/ha of symbiotic nitrogen is accumulated when growing soybeans on sod-podzolic soils and 105 kg/ha on peat soils, which is equivalent to 300-350 kg/ha of ammonium nitrate. This amount of nitrogen is quite sufficient to meet the needs of subsequent crops in the crop rotation for this nutrient.

Keywords: sod-podzolic soils; peat soils; fertilizer system; phosphorus-mobilizing preparation; microbial inoculant; crop by-products.

Отримано / Received: 12.03.2026

Прийнято до друку / Accepted: 22.03.2026

Опубліковано / Published: 27.03.2026



© 2026 [Zosymchuk M. D., Polishchuk O. S.]. Licensee {NUWEE}. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org)

УДК 630:502.174:574.2

<https://doi.org/10.31713/vs120266>

Караїм О. А. [1; ORCID ID: 0000-0002-1722-4110],

к.е.н., доцент,

Цьось О. О. [1; ORCID ID: 0000-0002-9679-9413],

к.с.-г.н., доцент,

Лавринюк З. В. [1; ORCID ID: 0000-0002-1906-3330],

к.х.н., доцент,

Клочун І. Б. [1; ORCID ID: 0009-0002-9534-3913],

магістр

¹Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк

ЕКОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ЛІСОГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В КОНТЕКСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ

Здійснено комплексний екологічний аналіз стану лісів філії «Городоцьке лісове господарство» та визначено напрямки його покращення в контексті забезпечення екосистемних послуг. Проведено аналіз стану лісових насаджень, рубок формування й оздоровлення лісів, досліджено ефективність заходів щодо захисту лісових рослин від шкідників і хвороб та розроблено пропозиції, спрямовані на підвищення екологічної стійкості лісових екосистем. Встановлено, що впродовж 2014–2022 років у лісах зафіксовано загибель деревостанів на площі 5,1 га (127 м³), що свідчить про локальне зниження регульовальних і підтримувальних екосистемних послуг, зокрема поглинання вуглецю, стабілізації мікроклімату та підтримання біорізноманіття. Усі уражені ділянки представлені насадженнями сосни звичайної, які постраждали внаслідок розвитку кореневої губки, що призвело до ослаблення деревостанів і часткової втрати їх захисних та ресурсних функцій. Обсяги суцільних і вибіркових санітарних рубок, проведених у 2014–2022 роках, безпосередньо зумовлені фактичним санітарним станом лісових насаджень та відповідають реальним потребам щодо їх оздоровлення, що сприяє підтриманню стабільності екосистемних процесів і відновленню продуктивного потенціалу лісів. Серед хвороб лісу найбільш поширеними були коренева губка, стовбурні гнилі, трутовик несправжній осиковий та омела біла, поширення яких впливає на якість постачальних екосистемних послуг (деревина) та послаблює регульовальні функції лісових екосистем. Моніторинг шкідників і осередків хвороб здійснюється систематично, що забезпечує своєчасне реагування на загрози та мінімізацію втрат екосистемних послуг. Результати дослідження засвідчили, що лісогосподарська діяльність Городоцького лісового господарства загалом відповідає принципам раціонального природокористування та спрямована

на підтримання екологічної стійкості лісових екосистем. Оскільки санітарний стан насаджень, проведення рубок формування й оздоровлення, а також заходи із захисту лісових рослин безпосередньо впливають на рівень реалізації екосистемних послуг, то виявлені осередки хвороб і випадки загибелі деревостанів свідчать про необхідність посилення превентивних заходів для мінімізації втрат екосистемних послуг.

Ключові слова: ліс; екологічний аналіз; лісові екосистеми; екосистемні послуги; сталий розвиток.

Постановка проблеми. Лісові екосистеми забезпечують ключові екосистемні послуги – регульовальні, підтримувальні, постачальні та захисні, сприяючи водночас екологічній рівновазі і сталому розвитку. Тому в умовах зростання антропогенного навантаження та кліматичних змін збереження їх функціональної спроможності набуває особливої важливості. Оцінювання лісогосподарської діяльності через призму екосистемних послуг дозволяє визначити її вплив на екологічні функції лісів. У цьому аспекті ліси філії «Городоцьке лісове господарство» виступають репрезентативним об'єктом дослідження, оскільки поєднують значний природний потенціал із підвищеною вразливістю до деградаційних чинників. Актуальність дослідження полягає в необхідності екологічного аналізу лісогосподарських заходів з урахуванням їх здатності підтримувати якість, обсяг і стійкість екосистемних послуг.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню екологічних аспектів лісогосподарської діяльності присвятили свої праці низка українських та зарубіжних вчених. Еколого-статистичний аналіз основних аспектів ведення лісогосподарської діяльності подано у роботах [1; 2]. Характеристика еколого-біологічних особливостей поширення кореневої губки висвітлена у публікаціях авторів [3; 4; 5]. Науковці [6] дослідили питання адаптації соснових насаджень до змін клімату. Об'єкти ПЗФ Городоцького лісництва філії «Городоцьке лісове господарство» охарактеризовані у праці [7]. Серед робіт іноземних вчених вагомими є дослідження [8] щодо еволюційних підходів із вивчення здоров'я лісів; у праці [9] подано характеристику новітніх методів моніторингу лісових насаджень. Автори [10] пропонують заходи для зменшення інтенсивності лісових пожеж та ін.

Подальшого та глибшого дослідження потребує проблема якості лісових насаджень та особливостей ведення лісогосподарської діяльності в контексті забезпечення екосистемних послуг.

Мета, завдання та методи дослідження. Метою дослідження є здійснення екологічного аналізу лісогосподарської діяльності філії «Городоцьке лісове господарство» в контексті забезпечення екосистемних послуг.

Основні завдання дослідження полягають у проведенні оцінки відтворення, охорони та гідролісомеліорації лісів, аналізу їх сучасного стану, динаміки рубок формування й оздоровлення, ефективності заходів захисту від шкідників і хвороб, а також розробленні рекомендацій щодо покращення екологічного стану лісових екосистем.

У дослідженні застосовано аналітичні, порівняльні та описові методи для опрацювання й інтерпретації наявних матеріалів лісовпорядкування та звітної документації лісництва. Використано статистичні підходи для оцінювання динаміки лісівничих показників, а також методи екологічного аналізу та систематизації даних з метою визначення стану лісових екосистем, ефективності лісогосподарських заходів та рівня антропогенного впливу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Філія «Городоцьке лісове господарство» згідно реорганізації 2023 року, нині належить до Маневицького надлісництва філії «Поліський лісовий офіс» державного спеціалізованого господарського підприємства «Ліси України». Площа лісів філії «Городоцьке ЛГ» станом на 2023 р. становила 29428,4 га [11]. Поділ лісів здійснений під час проведення базового лісовпорядкування у 2022–2023 роках, відповідно до якого ліси природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення склали 5,6%, рекреаційно-оздоровчі ліси – 0,1%, захисні ліси 8,7%, експлуатаційні ліси – 85,6%.

Що стосується поділу вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок за групами порід, то хвойні насадження займають 68,4%, твердолистяні – 0,4%, м'яколистяні – 31,2%.

Динаміку поділу вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок основних лісоутворювальних порід за групами віку представлено на рис. 1.

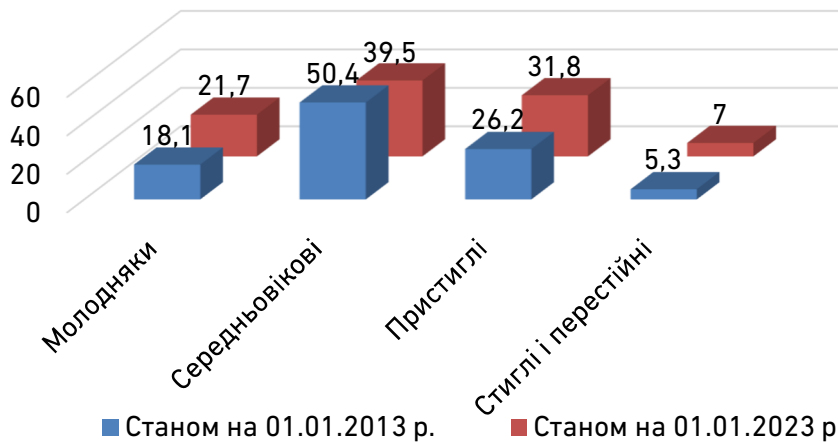


Рис. 1. Динаміка поділу вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок основних лісоутворювальних порід за групами віку, %

Поділ вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок за класами бонітету у 2023 р. представлено на рис. 2. Поділ вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок за повнотами показано на рис. 3.

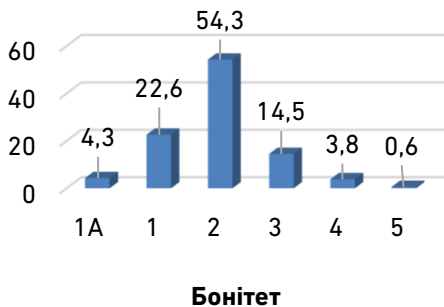


Рис. 2. Розподіл вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок за класами бонітету, %

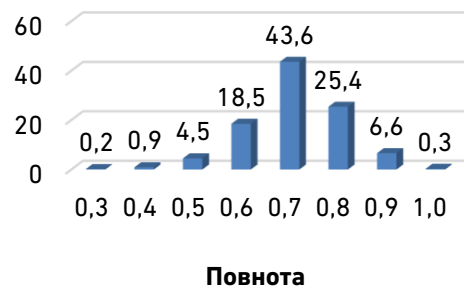


Рис. 3. Розподіл вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок за повнотами, %

Деревостани з повнотою 0,3–0,4 охоплюють площу 260,4 га (0,4%), що зумовлено впливом несприятливих природно-кліматичних умов, а також поширенням шкідників і захворювань. Серед типів лісу переважають свіжий дубово-сосновий субір (19,1%), вологий дубово-сосновий субір (19,1%) та сирий осушений чорновільховий сугрудок (16,9%).

Лісові насадження з домінуванням порід, які не відповідають природним типам лісу, займають 2667,1 га, що становить 10,4% площі, вкритої лісовою рослинністю. У їх структурі переважають деревостани сосни звичайної та берези повислої. У ході дослідження виявлені місця масового відпочинку в рекреаційних пунктах, розташованих на території лісового господарства, де проведена ландшафтна таксація [15] (табл. 1).

Таблиця 1

Розподіл загальної площі рекреаційно-оздоровчих лісів за функціональними зонами

Функціональна зона	Лісництво, номери кварталів, що входять в зону	Площа, га
Зона масового відпочинку	Борове, кв. 33 в.6	1,0
	Лишнівське, кв. 37 в.38	0,7
	Лишнівське, кв. 51 в.41	1,6
	Городоцьке, кв. 59 в.10	1,4
Разом		4,7

Рекреаційно-оздоровчі ліси характеризуються такими показниками: середній рівень естетичної оцінки становить 2 бали, пішохідна доступність – 3,0, показник рекреаційної оцінки – 2,0, стійкість до рекреаційного навантаження – 2,0, стадія рекреаційної дигресії – 1,0, додаткова оцінка – 5 балів. Упродовж 2014–2022 років здійснено значний обсяг заходів із відтворення лісів: загальна площа відновлення склала 1911,1 га, з яких 986,8 га припадає на створення лісових культур (штучне лісовідновлення), а 924,3 га – на природне поновлення [15]. Відповідні результати лісовпорядних робіт наведено в табл. 2.

За результатами попереднього лісовпорядкування під природне поновлення було передбачено 1138,5 га, з яких 1090,5 га припадає на лісосіки, у тому числі повністю представлені хвойними породами.

У межах Городоцького лісового господарства визначено 719,2 га лісів, що мають особливу цінність для збереження. Найбільшу частку серед них – 376,0 га – становлять території, де зосереджені осередки біорізноманіття, значущі на національному та регіональному рівнях.

Таблиця 2

Відтворення лісів упродовж 2014–2022 років, площа, га

Показники	Лісові культури	Сприяння природному поновленню	Природне поновлення
1. Фактично виконано – усього	986,8	-	924,3
Із фактично виконаного обсягу:			
1.1. Не вкриті лісовою рослинністю лісові ділянки – усього	986,8	-	924,3
з них призначено лісовпорядкуванням	986,8	-	924,3
1.2. Нелісові землі усього	-	-	
1.3. Вкриті лісовою рослинністю лісові ділянки (реконструкція)	-	-	
2. Запроєктовано попереднім лісовпорядкуванням – усього	1246,7	31,5	1138,5
% виконання проєкту	79,2	-	81,2

Проведений екологічний аналіз якісних і кількісних характеристик лісових насаджень показав, що господарська діяльність у межах лісництва здійснюється відповідно до чинної нормативно-правової бази, зокрема Лісового кодексу України та галузевих інструкцій з ведення лісового господарства [12; 13; 14]. Основні заходи були спрямовані на підвищення продуктивності та стійкості деревостанів, поліпшення їх санітарного стану, оптимізацію вікової та породної структури, посилення захисних, кліматорегулювальних і ґрунтозахисних функцій лісів.

Результати дослідження не засвідчили наявності негативного антропогенного впливу, здатного порушити екологічну рівновагу лісових біогеоценозів. Проведені господарські заходи не спричинили деградації ґрунтів, не вплинули на процеси природного відновлення та не порушили гідрологічний режим території. Також не виявлено надмірних рекреаційних навантажень, які можуть погіршувати стан лісів. Не зафіксовано ознак всихання дерев, зниження приросту, ослаблення деревостанів, суттєвих механічних пошкоджень чи інших проявів, що свідчили б про погіршення санітарного стану лісового фонду [15]. Отримані результати підтверджують стабільний екологічний стан досліджуваних лісових масивів та засвідчують ефективність лісгосподарських заходів, що узгоджуються з сучасними принципами сталого управління лісовими ресурсами.

Однак, необхідно зазначити, що близько 9,5% території лісового господарства перебуває в зоні радіаційного забруднення від аварії на Чорнобильській АЕС, що визначає специфіку ведення лісгосподарської діяльності та потребує постійного моніторингу. Забруднення пов'язане з накопиченням ізотопів цезію-137 і стронцію-90, які тривалий час зберігаються в ґрунтах і біоті, а лісові екосистеми виступають чутливими індикаторами їх поширення. Це зумовлює необхідність регулярного радіоекологічного контролю та обмеження господарської діяльності у разі перевищення допустимих рівнів, з метою запобігання потраплянню радіонуклідів у трофічні ланцюги і зниження ризиків для населення.

Незважаючи на наявність радіаційного чинника, результати обстежень свідчать про його локальний характер і відсутність критичного впливу на структуру та функціонування лісових екосистем. У межах допустимих навантажень зберігаються нормальний ріст і відновлення деревостанів, а також задовільний санітарний стан лісів [15].

Отже, за умови постійного контролю радіаційний чинник не має визначального негативного впливу на екологічну стійкість лісового фонду.

У 2014–2022 роках зафіксовано загибель деревостанів на площі 5,1 га (127 м³ деревини), причому всі уражені ділянки представлені насадженнями сосни звичайної. Основною причиною є розвиток кореневої губки (*Heterobasidion annosum* s.l.) – одного з найпоширеніших патогенів хвойних лісів Європи, що вражає кореневу систему, порушує водний баланс і фізіологічні процеси дерев, знижує їх стійкість і призводить до передчасного всихання [3; 4; 5].

Виявлені осередки ураження вказують на потребу системного лісопатологічного моніторингу та впровадження превентивних заходів, зокрема своєчасних вибіркових санітарних рубок, обмеження монокультур, використання порід-антагоністів і дотримання технологій, що знижують ризик поширення інфекції. Такі заходи відповідають сучасним підходам до підвищення стійкості лісових екосистем і стримування фітопатогенів.

Аналіз рубок формування та оздоровлення лісів показав, що облік рубок догляду ведеться належним чином і відповідає чинним нормативно-правовим вимогам та методичним рекомендаціям. Обсяги рубок догляду та санітарних рубок за 2014–2022 роки наведено в табл. 3.

Таблица 3

Обсяги здійснення санітарних рубок за період 2014–2022 років

Види санітарних рубок	Площа, га	Запас тис. м ³		
		Загальний	Ліквідний	Діловий
Суцільні	1009,0	190,53	171,33	101,46
Вибіркові	2155,0	34,18	30,79	9,20
Разом	3164,0	224,71	202,12	312,78

Основним підходом тут є комбінований метод, який передбачає видалення ослаблених дерев одночасно з верхнього та нижнього ярусів з урахуванням їх біологічних і господарських характеристик.

Отримана деревина переважно реалізовувалася у круглому вигляді, тоді як близько 9 % використовувалося для власних потреб. За даними попереднього лісовпорядкування виявлено 25,96 тис. м³ сухостійної та пошкодженої деревини на площі 2766,9 га, видалення якої планувалося здійснювати переважно суцільними та вибірковими санітарними рубками (близько 70%), а також у межах інших лісогосподарських заходів [15].

У межах лісового господарства зафіксована захаращеність лісів, площа якої становить 1282,8 га із запасом деревини 20,96 тис. м³, з яких 0,35 тис. м³ – ліквідна. До очищення було заплановано 0,24 тис. м³ (у тому числі 0,16 тис. м³ ліквідної деревини) на площі 35,7 га. Фактично обсяги робіт виявилися значно більшими: очищення проведено на 2154,0 га, вилучено 7,58 тис. м³ деревини, з яких 7,16 тис. м³ – ліквідна. Це зумовлено виявленням додаткових осередків захаращення та ослаблення деревостанів під впливом біотичних і абіотичних чинників (вітровали, сніголами, шкідники, хвороби). Проведені заходи спрямовані на підвищення стійкості насаджень, зниження пожежної небезпеки та стримування поширення шкідників і хвороб. Дослідження підтверджують, що своєчасне видалення захаращеності є ключовим чинником підтримання стабільності та продуктивності лісових екосистем [15].

Аналіз лісовідновних рубок виявив невідповідність між запланованими (140,2 га; 12,75 тис. м³) і фактичними обсягами їх виконання. У лісах природоохоронного призначення рубки не проводилися через обмеження режиму охорони, тоді як у захисних лісах реалізовано лише 7,0 га (1,16 тис. м³) переважно в м'яколистяних насадженнях для оновлення ослаблених деревостанів. Загалом виконано лише близько 5% від запроєктованого обсягу, що

відображає тенденцію до мінімізації втручання в природні процеси відновлення. Водночас інші лісогощодарські заходи у 2014–2022 рр. здійснювалися системно, а відхилення від плану зумовлені фактичним станом насаджень і пріоритетами управління [15].

Показники лісовідновних рубок, здійснених за період 2014–2022 років, подані в табл. 4.

Таблиця 4

Обсяги виконаних лісовідновних рубок за період 2014–2022 років

Ліси	Фонд лісовідновних рубок, встановлений лісовпорядкуванням		Фактично виконано			
			площа, га	запас, тис.м ³		
	площа, га	стовбурний запас			загальний	ліквідний
Ліси природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення						
Хвойні	11,1	1,03	-	-	-	-
М'яколистяні	112,3	9,67	-	-	-	-
Разом	123,4	10,70	-	-	-	-
Захисні ліси						
Хвойні	1,2	0,09	-	-	-	-
М'яколистяні	15,6	1,96	7,0	1,16	1,16	0,61
Разом	16,8	2,05	7,0	1,16	1,16	0,61
Всього	140,2	12,75	7,0	1,16	1,16	0,61

Рубки поодиноких дерев проведено на площі 2,0 га із заготовлею 0,10 тис. м³ ліквідної деревини (з них 0,07 тис. м³ – ділової), що становить близько 45% від запланованого обсягу. Вони були спрямовані на видалення аварійних, всихаючих і пошкоджених дерев для покращення санітарного стану насаджень. Натомість рубки рідколісся не здійснювалися, попри заплановані 3,5 га (0,39 тис. м³), що, ймовірно, пов'язано з відсутністю відповідних ділянок або зміною пріоритетів лісогощодарських заходів [15]. Обсяги реалізації інших заходів з формування і оздоровлення лісів наведені в табл. 5.

Найбільший обсяг робіт припав на розчищення кварталних просік – 110,9 га при запланованих 58,5 га, із вилученням 2,09 тис. м³ деревини, що зумовлено потребою покращення доступності та протипожежного облаштування території. Водночас розчищення протипожежних розривів виконано в менших обсягах (17,0 проти 70,5 га), але з істотним вилученням деревини (1,53 тис. м³), що свідчить про пріоритетну обробку найбільш ризикованих ділянок.

Таблиця 5

Обсяги реалізації інших заходів з формування і оздоровлення лісів за період 2014–2022 років

Інші рубки	Площа, га	Запас, тис. м ³		
		Загальний	Ліквідний	Діловий
1. Рубка поодиноких дерев	2,0	0,10	0,10	0,07
2. Рубка рідколісся	-	-	-	-
3. Розчищення кварталних просік	110,9	2,09	0,33	0,07
4. Розрубання, розчищення протипожежних розривів	17,0	1,53	1,47	1,11
5. Розчищення меліоративної мережі	1,8	0,27	0,27	0,08
6. Очищення від горючих матеріалів смуг 10 м вздовж доріг	-	-	-	-
7. Розрубання, розчищення лісових доріг	23,2	1,93	1,70	1,12
Разом	154,9	5,92	3,87	2,45

Розчищення меліоративної мережі охопило 1,8 га, проте обсяг ліквідної деревини перевищив запланований, що підтверджує необхідність оновлення водорегулювальних елементів. Додатково, поза проєктом, виконано розчищення лісових доріг на 23,2 га (1,93 тис. м³), що покращило доступність території.

Загалом виконано 154,9 га робіт із вилученням 5,92 тис. м³ деревини, що на 42% більше від запланованого, відображаючи адаптивний характер управління лісовим господарством та орієнтацію на підтримання екологічної стійкості насаджень.

Важливим елементом екологічного моніторингу є виявлення осередків шкідників і хвороб, що забезпечує своєчасне реагування на біотичні загрози. Просторовий аналіз їх поширення дозволяє оцінити рівень ураження, прогнозувати втрати деревини та визначити пріоритетні ділянки для проведення санітарних заходів, підвищуючи ефективність лісгосподарського управління [15]. Осередки шкідників і хвороб, зафіксовані у 2014–2022 роках, наведено в табл. 6.

Таблиця 6

Динаміка осередків шкідників і хвороб лісу за період 2014–2022 рр.

Види шкідників і хвороб	Площа осередків, га				
	на початок періоду	виникли знову	ліквідовано	залишок осередків	
				усього	в т. ч. потребують заходів боротьби
1. Хвороби лісу					
Коренева губка	1479,1	-	678,8	800,3	800,3
Трутовик несправжній осиковий	14,3	-	11,7	2,6	2,6
Трутовик несправжній вільховий	40,6	-	40,6	-	-
Стовбурні гнилі	43,0	-	33,6	9,4	9,4
Смоляний рак	2,6	-	2,6	-	-
Рак ендотієвий	6,5	-	6,5	-	-
Омела біла	-	6,5	-	6,5	6,5
Разом	1586,1	6,5	773,8	818,8	818,8
2. Шкідники лісу					
Міль вербова павутинна	2,3	-	2,3	-	-
Хрущ західний травневий	14,2	-	9,0	5,2	5,2
Разом	16,5	-	11,3	5,2	5,2
Всього	1602,6	6,5	785,1	824,0	824,0

Серед хвороб найбільш поширеними були коренева губка, стовбурні гнилі, несправжній осиковий трутовик і омела біла, тоді як осередків масового розмноження шкідників не зафіксовано. Проведення санітарних рубок сприяло покращенню стану насаджень і зменшенню площ ураження, що дозволяє оцінити лісовий фонд як задовільний.

У процесі дослідження встановлено, що моніторинг стану лісів здійснюється систематично: щорічні лісопатологічні обстеження охоплюють близько 3,0 тис. га, а основними заходами є суцільні та вибіркові санітарні рубки й рубки догляду. За матеріалами лісовпорядкування 2022 року заплановано вибіркові санітарні рубки на площі 1592,0 га. Облік осередків ведеться у спеціальній документації, звітність формується щорічно, а координацію заходів забезпечує інженер з охорони та захисту лісу [15].

На основі проведеного аналізу, визначено пріоритетні напрямки оптимізації лісогосподарської діяльності в контексті забезпечення екосистемних послуг, основними з них є:

– Підвищення структурної та видової різноманітності лісів. Формування різновікових, багатоярусних і мішаних насаджень сприятиме підсиленню регульовальних та підтримувальних

екосистемних послуг, зокрема стабілізації мікроклімату, збереженню біорізноманіття та підвищенню стійкості до біотичних і кліматичних стресів. Зменшення частки монокультур забезпечить зниження ризику масового ураження хворобами та шкідниками.

– *Відновлення природного гідрологічного режиму.* Збереження та ренатуралізація водно-болотних угідь, регулювання меліоративних систем і блокування осушувальних каналів сприятимуть підтриманню водорегулювальних екосистемних послуг, стабілізації ґрунтової вологи та зниженню ризику деградації лісових насаджень у посушливі періоди.

– *Інтеграція сучасних систем моніторингу.* Використання дистанційного зондування, спектрального аналізу, безпілотних літальних апаратів і феромонного моніторингу забезпечить раннє виявлення осередків хвороб і шкідників, що дозволить мінімізувати втрати постачальних та регулювальних екосистемних послуг.

– *Впровадження адаптивного лісівництва.* Коригування породного складу та щільності насаджень відповідно до кліматичних прогнозів, збільшення частки посухостійких і патоген-резистентних порід, формування кліматично резильєнтних мішаних лісів сприятимуть довгостроковому збереженню вуглецепоглиняльної та захисної функцій лісових екосистем.

– *Оптимізація санітарних заходів.* Перевага вибіркового санітарного рубку над суцільними дозволить зберегти структурну цілісність насаджень, мінімізувати втрати біорізноманіття та підтримати безперервність надання підтримувальних екосистемних послуг. Суцільні рубки доцільні лише за критичного рівня ураження.

– *Збереження мікробіотопів і мертвої деревини.* Залишення сухою, дуплистих дерев і валежу підвищує біорізноманіття, підтримує трофічні зв'язки та ґрунтоутворювальні процеси, забезпечуючи підтримувальні та регулювальні екосистемні послуги.

– *Переорієнтація на природне поновлення.* Стимулювання природного відновлення сприятиме формуванню генетично адаптованих деревостанів, що підвищує їх стійкість і забезпечує довготривалу реалізацію екосистемних функцій без надмірного втручання.

– *Створення буферних екотонів.* Формування буферних смуг навколо лісових масивів посилить захисні екосистемні послуги, зменшить ризик поширення пожеж, шкідників та ерозійних процесів.

– *Контроль інвазивних видів.* Системний моніторинг і своєчасне реагування на інвазії забезпечать збереження біотичної рівноваги та стабільність функціонування екосистемних послуг.

– *Впровадження системи екологічного менеджменту відповідно до міжнародних стандартів (ISO 14001, FSC).* Це сприятиме систематизації природоохоронної діяльності, підвищенню прозорості управлінських процесів та інтеграції принципів екосистемного підходу в практику лісокористування.

– *Оцінка та економічна інтерпретація екосистемних послуг.* Запровадження механізмів кількісної та вартісної оцінки екосистемних послуг дозволить обґрунтовувати управлінські рішення з урахуванням довгострокових екологічних вигод і мінімізувати ризики деградації природного капіталу.

– *Посилення участі заінтересованих сторін та екологічної комунікації.* Залучення місцевих громад, наукових установ і громадських організацій до процесу планування лісогосподарських заходів сприятиме підвищенню соціальної відповідальності управління та забезпеченню збереження культурних і рекреаційних екосистемних послуг.

Висновки. Отже, забезпечення збалансованого використання та охорони лісових ресурсів Городоцького лісництва доцільно розглядати крізь призму формування та збереження екосистемних послуг. Функціональна складова діяльності лісництва визначає здатність лісових екосистем забезпечувати постачальні, регулювальні, підтримувальні та захисні послуги, що формують екологічну й соціально-економічну стабільність території. Їх значення посилюється в умовах кліматичних змін, зростання антропогенного навантаження та необхідності підвищення резилієнтності лісових масивів.

Екологічний аналіз лісогосподарської діяльності в контексті екосистемних послуг виступає ефективним інструментом оцінювання не лише санітарного стану насаджень і характеру антропогенних впливів, але й рівня збереження функціональної спроможності лісів. Методологічне поєднання системного, ландшафтно-екологічного та порівняльного підходів дозволило комплексно оцінити взаємозв'язок між господарськими заходами та динамікою екосистемних функцій на території філії «Городоцького лісового господарства».

За результатами дослідження встановлено ефективну організацію лісовідновних робіт, що сприяє підтриманню постачальних і регулювальних екосистемних послуг у довгостроковій перспективі. Значна увага приділяється збереженню біорізноманіття

та охороні цінних природних комплексів, що забезпечує стабільність підтримувальних екосистемних функцій. Регулярний моніторинг стану лісів і коригування планів господарювання сприяють адаптивному управлінню, спрямованому на підтримання балансу між ресурсним використанням і збереженням екологічної цілісності лісових екосистем.

Санітарні рубки та заходи з оздоровлення насаджень позитивно вплинули на санітарний стан лісів, зменшили площу уражених деревостанів і сприяли відновленню їх захисних та регулювальних функцій. Загалом лісгосподарська діяльність лісництва відповідає сучасним принципам сталого управління, орієнтованого на збереження екосистемних послуг як ключової умови довготривалої екологічної стабільності.

1. Гулай Л., Войцеховський Р., Лавринюк З., Караїм О., Джам О. Еколого-статистичний аналіз основних аспектів ведення господарської діяльності Волинського ОУЛМГ. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2022. № 4. С. 48–60. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-5>.
2. Джам О., Дяк Т., Гулай Л., Караїм О., Лавринюк З. Моніторинг екологічного стану лісових ресурсів філії «Рафалівське лісове господарство» ДП «Ліси України». *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2024. № 4. С. 49–56. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-4-7>.
3. Вишневський А., Турко В., Швець М., Власюк В. Ураження насаджень сосни звичайної збудником кореневої губки у Житомирському Поліссі. *Вісник Малинського фахового коледжу*. 2022. № 1. С. 37–48. URL: <https://visnyk.mltk.co.ua/article/view/292018/285243>. (дата звернення: 10.02.2026).
4. Левченко В. Б., Карпович М. С., Захарчук В. А., Романюк А. А. Еколого-біологічні особливості поширення кореневої губки сосни звичайної в постпірогенних умовах лісових едотопів Поліського природного заповідника. *Лісівництво, переробляння деревини та землевпорядкування: здобутки, стан і перспективи*. 2024. С. 37. URL: <https://biotechuniv.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/conf-29-30-10-24-materv.pdf#page=38>. (дата звернення: 10.02.2026).
5. Турко В. М., Вишневський А. В., Сірук Ю. В., Жуковський О. В. Особливості лісовідновлення в осередках кореневої губки в сосняках свіжих суборів Житомирського Полісся. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2023. № 33(2). С. 38–44. DOI: <https://doi.org/10.36930/40330205>.
6. Крамарець В. О., Криницький Г. Т., Король М. М., Лавний, В. В. Адаптація соснових насаджень до змін клімату (на прикладі філії «Рава-Руське ЛГ»). *Scientific Bulletin of UNFU*. 2023. № 33(6). С. 13–21. DOI: <https://doi.org/10.36930/40330602>.
7. Клочун І., Цьось О. Об'єкти ПЗФ Городоцького лісництва філії «Городоцьке лісове господарство». *Актуальні проблеми розвитку природничих та гуманітарних наук* : зб. матеріалів ІХ Міжнар. наук. практ. конф. (14 листопада 2025 р.). Луцьк : ВНУ імені Лесі Українки, 2025. С. 121–123. URL: <https://ra.vnu.edu.ua/rada-molodyh-vchenyh/konferentsiya-molodyh-vchenyh/>. (дата звернення: 10.02.2026).
8. Acosta-Muñoz C., Navarro-Cerrillo R. M., Bonet-García F. J., Ruiz-Gómez F. J., González-Moreno, P. Evolution and Paradigm Shift in Forest Health Research: A Review of Global Trends and Knowledge Gaps. *Forests*. 2024.

Vol. 15(8). Article 1279. DOI: <https://doi.org/10.3390/f15081279>. **9.** Borghi C., Francini S., D'Amico G., Valbuena R., Chirici G. Advancements in Forest Monitoring: Applications and Perspectives of Airborne Laser Scanning and Complementarity with Satellite Optical Data. *Land*. 2025. Vol. 14(3). Article 567. DOI: <https://doi.org/10.3390/land14030567>

10. Brodie E. G., Knapp E. E., Brooks W. R. et al. Forest thinning and prescribed burning treatments reduce wildfire severity and buffer the impacts of severe fire weather. *Fire Ecology*. 2024. Vol. 20. Article 17. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42408-023-00241-z>.

11. План ведення господарства (план лісоуправління) Маневецького надлісництва філії «Поліський лісовий офіс» ДП «Ліси України» на 2026 рік. URL: <https://e-forest.gov.ua/wp-content/uploads/2025/11/Manevytskenadlisnytstvo.pdf>. (дата звернення: 10.02.2026).

12. Інструктивно-методичні вказівки з ведення лісовпорядкування : наказ Українського державного проектного лісовпорядного виробничого об'єднання від 18 липня 2022 року № 34. Ірпінь, 2022. 85 с. URL: https://lisproekt.gov.ua/fileadmin/user_upload/Instruktivno-metodichni_vkazivki.pdf (дата звернення: 10.09.2025).

13. Інструкції з проектування, технічного приймання, обліку та оцінки якості лісокультурних об'єктів : наказ Державного комітету лісового господарства України від 19 серпня 2010 року № 260. *Верховна Рада України*. Офіційний сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1046-10#Text>. (дата звернення: 10.02.2026).

14. Про затвердження Порядку здійснення лісовпорядкування : Постанова Кабінету Міністрів України від 7 лютого 2023 р. № 112. *Верховна Рада України*. Офіційний сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/112-2023-%D0%BF#Text> (дата звернення: 10.09.2025).

15. Проект організації та розвитку лісового господарства філії «Городоцьке лісове господарство» Державного спеціалізованого господарського підприємства «Ліси України» : пояснювальна записка. Ірпінь, 2023. 72 с.

REFERENCES:

1. Hulai L., Voitsekhovskiy R., Lavryniuk Z., Karaim O., Dzham O. Ekologo-statystychnyi analiz osnovnykh aspektiv vedennia hospodarskoi diialnosti Volynskoho OULMH. *Problemy khimii ta staloho rozvytku*. 2022. № 4. S. 48–60. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-5>.
2. Dzham O., Diak T., Hulai L., Karaim O., Lavryniuk Z. Monitorynh ekolohichnoho stanu lisovykh resursiv Filii «Rafalivske lisove gospodarstvo» DP «Lisy Ukrainy». *Problemy khimii ta staloho rozvytku*. 2024. № 4. S. 49–56. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-4-7>.
3. Vyshnevskiy A., Turko V., Shvets M., Vlasiuk V. Urazhennia nasadzhen sosny zvychnoi zbudnykom korenevoi hubky u Zhytomyrskomu Polissi. *Visnyk Malynskoho fakhovoho koledzhu*. 2022. № 1. S. 37–48. URL: <https://visnyk.mltk.co.ua/article/view/292018/285243>. (data zvernennia: 10.02.2026).
4. Levchenko V. B., Karpovych M. S., Zakharchuk V. A., Romaniuk A. A. Ekologo-biologichni osoblyvosti poshyrennia korenevoi hubky sosny zvychnoi v postpirohennykh umovakh lisovykh edatopiv Poliskoho pryrodnoho zapovidnyka. *Lisivnytstvo, pererobliannia derevyny ta zemlevporiadkuvannia: zdobutky, stan i perspektyvy*. 2024. S. 37. URL: <https://biotechuniv.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/conf-29-30-10-24-materv.pdf#page=38>. (data zvernennia: 10.02.2026).
5. Turko V. M., Vyshnevskiy A. V., Siruk Yu. V., Zhukovskiy O. V. Osoblyvosti lisovidnoblennia v oseredkakh korenevoi hubky v sosniakakh svizhykh suboriv Zhytomyrskoho Polissia. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2023. № 33(2). S. 38–44. DOI: <https://doi.org/10.36930/40330205>.
6. Kramarets V. O., Krynytskyi H. T., Korol M. M., Lavnyi, V. V. Adaptatsiia osnovnykh nasadzhen do zmin klimatu (na prykladi filii «Rava-

Ruske LH»). *Scientific Bulletin of UNFU*. 2023. № 33(6). S. 13–21. DOI: <https://doi.org/10.36930/40330602>. **7.** Klochun I., Tsos O. Obiekty PZF Horodotskoho lisnytstva filii «Horodotske lisove gospodarstvo». *Aktualni problemy rozvytku pryrodnychyykh ta humanitarnyykh nauk* : zb. materialiv IKh Mizhnar. nauk. prakt. konf. (14 lystopada 2025 r.). Lutsk : VNU imeni Lesi Ukrainky, 2025. S. 121–123. URL: <https://ra.vnu.edu.ua/rada-molodyh-vchenyh/konferentsiya-molodyh-vchenyh/>. (data zvernennia: 10.02.2026). **8.** Acosta-Muñoz C., Navarro-Cerrillo R. M., Bonet-García F. J., Ruiz-Gómez F. J., González-Moreno, P. Evolution and Paradigm Shift in Forest Health Research: A Review of Global Trends and Knowledge Gaps. *Forests*. 2024. Vol. 15(8). Article 1279. DOI: <https://doi.org/10.3390/f15081279>. **9.** Borghi C., Francini S., D'Amico G., Valbuena R., Chirici G. Advancements in Forest Monitoring: Applications and Perspectives of Airborne Laser Scanning and Complementarity with Satellite Optical Data. *Land*. 2025. Vol. 14(3). Article 567. DOI: <https://doi.org/10.3390/land14030567>. **10.** Brodie E. G., Knapp E. E., Brooks W. R. et al. Forest thinning and prescribed burning treatments reduce wildfire severity and buffer the impacts of severe fire weather. *Fire Ecology*. 2024. Vol. 20. Article 17. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42408-023-00241-z>. **11.** Plan vedennia gospodarstva (plan lisoupravlinnia) Manevytskoho nadlisnytstva filii «Poliskyi lisovyi ofis» DP «Lisy Ukrainy» na 2026 rik. URL: <https://e-forest.gov.ua/wp-content/uploads/2025/11/Manevytskenadlisnytstvo.pdf>. (data zvernennia: 10.02.2026). **12.** Instruktyvno-metodychni vказivky z vedennia lisovporiadkuvannia : nakaz Ukrainskoho derzhavnogo proektnoho lisovporiadnogo vyrobnychoho obiednannia vid 18 lypnia 2022 roku № 34. Irpin, 2022. 85 s. URL: https://lisproekt.gov.ua/fileadmin/user_upload/Instruktyvno-metodychni_vkazivki.pdf (data zvernennia: 10.09.2025). **13.** Instruksii z proiektuvannia, tekhnichnogo pryimannia, obliku ta otsinky yakosti lisokulturnykh obiektiv : nakaz Derzhavnogo komitetu lisovoho gospodarstva Ukrainy vid 19 serpnia 2010 roku № 260. *Verkhovna Rada Ukrainy*. Ofitsiinyi sait. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1046-10#Text>. (data zvernennia: 10.02.2026). **14.** Pro zatverdzhennia Poriadku zdiisnennia lisovporiadkuvannia : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 7 liutoho 2023 r. № 112. *Verkhovna Rada Ukrainy*. Ofitsiinyi sait. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/112-2023-%D0%BF#Text> (data zvernennia: 10.09.2025). **15.** Proiekt orhanizatsii ta rozvytku lisovoho gospodarstva Filii «Horodotske lisove gospodarstvo» Derzhavnogo spetsializovanoho hospodarskoho pidpriemstva «Lisy Ukrainy» : poiasniuvalna zapyska. Irpin, 2023. 72 s.

Karaim O. A. [1; ORCID ID: 0000-0002-1722-4110],

Candidate of Economics (Ph.D.), Associate Professor

Tsos O. O. [1; ORCID ID: 0000-0002-9679-9413],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor

Lavryniuk Z. V. [1; ORCID ID: 0000-0002-1906-3330],

Candidate of Chemical Sciences (Ph.D.), Associate Professor

Klochun I. B. [1; ORCID ID: 0009-0002-9534-3913],

Master

¹*Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk*

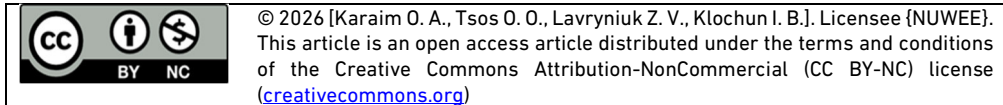
ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF FORESTRY ACTIVITIES IN THE CONTEXT OF ECOSYSTEM SERVICE PROVISION

A comprehensive environmental analysis of forest conditions was conducted, and priority directions for their improvement were identified, taking into account the conservation and restoration of ecosystem services. The condition of forest stands was assessed, forest thinning and sanitation felling practices were analyzed, and the effectiveness of measures aimed at protecting forest vegetation from pests and diseases was evaluated. Based on this, recommendations were developed to enhance the ecological resilience of forest ecosystems. It was established that during 2014–2022, forest dieback in the forests of the Horodok Forestry Branch covered an area of 5.1 ha (127 m³), indicating a localized decline in regulating and supporting ecosystem services, particularly carbon sequestration, microclimate regulation, and biodiversity maintenance. All affected areas were represented by Scots pine (*Pinus sylvestris*) stands damaged by root rot, which led to stand weakening and partial loss of their protective and provisioning functions. The volumes of clear and selective sanitary fellings carried out in 2014–2022 were directly determined by the actual sanitary condition of forest stands and corresponded to real restoration needs, thereby contributing to the stabilization of ecosystem processes and recovery of forest productivity. Among forest diseases, the most widespread were root rot, stem decay, false aspen tinder fungus, and European mistletoe, the spread of which negatively affects the quality of provisioning ecosystem services (timber) and weakens the regulating functions of forest ecosystems. Monitoring of pests and disease outbreaks is conducted systematically, ensuring timely response to emerging threats and minimizing losses of ecosystem services. The results indicate that forest management practices in the Horodok Forestry generally comply with the principles of sustainable natural resource use and are aimed at maintaining the ecological stability of forest ecosystems. It was confirmed that the sanitary condition of stands, forest thinning and sanitation measures, as well as forest protection activities, directly influence the level of ecosystem

service provision. The identified disease outbreaks and cases of forest dieback highlight the need to strengthen preventive measures to minimize losses of ecosystem services.

Key words: forest; environmental analysis; forest ecosystems; ecosystem services; sustainable development.

Отримано / Received: 20.01.2026
Прийнято до друку / Accepted: 01.02.2026
Опубліковано / Published: 27.03.2026



УДК 504:911.375(477.81)

<https://doi.org/10.31713/vs120267>

Клименко О. М. [1; ORCID ID: 0000-0002-2047-8824],

д.с.-г.н., професор,

Клименко Л. В. [1; ORCID ID: 0000-0002-0591-9265],

к.с.-г.н., доцент,

Каськів М. В. [1; ORCID ID: 0000-0002-6914-0867],

к.б.н., доцент

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ЦИТОГЕНЕТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЯК МЕТОД ІНТЕГРАЛЬНОЇ ОЦІНКИ СТАНУ УРБООКОСИСТЕМИ м. РІВНОГО

У статті здійснено характеристику території м. Рівного, проаналізовано рівні забруднення атмосфери міста і пересувних джерел, здійснено оцінювання екологічного стану міста тест-системою *Tagahasum officinalis* Webb за тестом «Стерильність пилку рослин-біоіндикаторів». У цілому, за 2006–2007 рр. екологічна ситуація в місті за цим тестом оцінюється як помірно небезпечна з конфліктним і загрозливим станом біоіндикаторів та середнім рівнем їх ушкодженості. За концентрацією розсіювання CO виявлені зони найбільшого забруднення атмосферного повітря міста. Одночасно було проведено біотестування за МЯ-тестом дітей дошкільного віку, що проживали на територіях 12 тест-полігонів. Установлено, що середні значення МЯ-індексу на тест-полігонах досягали значень від найменших 0,017 до найвищих 0,037 (середнє 0,028±0,001). Найвищі значення МЯ-індексу були виявлені на територіях міста, де розташовані підприємства та спостерігається інтенсивний рух автотранспорту, а найнижчі – на територіях з одноповерховою забудовою. Загалом, за 2011–2015 рр. екологічна ситуація в місті за МЯ-тестом оцінюється як задовільна з насторожуючим станом біосистем та рівнем генетичних ушкоджень, нижчим за середній. Підтверджено, що зростання сумарних обсягів надходження викидів забруднюючих речовин до атмосфери міста супроводжується зростанням поширеності хвороб серед населення міста.

Ключові слова: біотестування; рослини-біоіндикатори; умовний показник ушкодженості; клітини епітелію; мікроядерний тест; цитогенетичні ушкодження; слизова оболонка; екологічний стан; тест-полігон; захворюваність.

Постановка проблеми. Забруднення довкілля мутагенами хімічного, фізичного та біологічного походження набуває катастрофічного й глобального характеру. Мутагенами можуть бути

різні чинники, що викликають зміни на клітинному рівні біоти, в структурі генів, змінюють структуру та кількість хромосом, що призводить до змін стану здоров'я людей. За походженням мутагени класифікують на ендогенні, що утворюються в процесі життєдіяльності організму, та екзогенні – всі інші фактори, в тому числі й умови навколишнього середовища. Як правило, таку дію мають різноманітні сполуки, які викидають у повітря підприємства, що спалюють вугілля, нафту, а також різноманітні види транспорту. Хімічні елементи різними шляхами потрапляють в організм людини, завдаючи йому шкоду. Їх міграція в екосистемах відбувається за участі повітря, води, колоїдних розчинів і внаслідок техногенних процесів. На їх переміщення впливають внутрішні та зовнішні фактори [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Попередніми дослідженнями доведено, що збільшення мутагенного навантаження до рівня, здатного подвоїти частоту виникнення мутацій у людини, може призвести до змін стану здоров'я. Внаслідок дії мутагенів відбуваються зміни у соматичних клітинах, які дістали назву соматичних мутацій. Слід відмітити, як наслідок соматичних мутацій є ракове переродження. Злоякісний ріст викликають канцерогени, серед яких найпоширенішими є радіація та хімічні сполуки. Доведено й пряму кореляцію між вмістом бензопірену в атмосферному повітрі та смертністю від раку сечостатевого органу та органу дихання. Так, за даними Рівненського онкологічного диспансеру за 2010–2020 рр., рівень онкозахворювань серед населення міста продовжує зростати.

Тому необхідним є розв'язання таких проблем, як контроль над процесами забруднення навколишнього середовища мутагенами, запобігання наростанню мутагенного забруднення, розуміння походження дії мутагенів, пошуків засобів моніторингу та захисту організму людини від їх негативного мутагенного впливу.

Сучасна оцінка стану екологічних систем, територіальних природних комплексів, окремих об'єктів навколишнього середовища здійснюється за різними екологічними стандартами й нормативами. Серед них найважливішими є нормативи якості довкілля, які висвітлюють у показниках гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин в окремих об'єктах навколишнього середовища. Однак, такі підходи до оцінки стану об'єктів довкілля базуються не лише на інструментальних фізико-хімічних методах аналізу, але й орієнтовані на контроль до відповідності нормованих показників.

Оскільки традиційні методи оцінки стану об'єктів навколишнього середовища шляхом хімічного аналізу та вимірюванням радіоактивного фону не можуть відобразити сумарної дії різних забруднювачів довкілля, ця проблема може бути вирішена з використанням індикаторних біотестів, серед яких цитогенетичні є найбільш інформативними, високочутливими та достатніми для адекватних оцінок. Тому останнім часом спостерігаємо цілком обґрунтовану тенденцію необхідності оцінки стану довкілля урбанізованих територій не тільки традиційними фізико-хімічними методами, а й шляхом використання методів біоіндикації.

Актуальність обраного напрямку досліджень зумовлена сучасним зростанням забруднення довкілля техногенними продуктами, які мають мутагенну активність і впливають на генетичний апарат та імунну систему різновікових груп населення. Серед міст України за кількістю населення та параметричними характеристиками техногенного впливу на урбоєкосистеми помітно вирізняється м. Рівне. В його атмосферному повітрі регулярно фіксуються перевищення ГДК, діоксину азоту, бензопірену, оксиду вуглецю, фенолу, ідентифікуються діоксини сірки, формальдегіду та інших мутагенів. З огляду на це, виникла необхідність контролю над процесами забруднення атмосферного повітря міста, дослідження природи дії мутагенних речовин, запобігання наростанню техногенного забруднення та пошуку засобів і методів захисту живих організмів від мутагенного впливу.

Мета і завдання досліджень. Мета роботи полягала в оцінюванні стану урбоєкосистеми м. Рівного за показниками цитогенетичного моніторингу.

Досягнення мети передбачало вивчення наступних завдань: здійснити ландшафтно-екологічну характеристику міста; провести районування міста за ступенем ушкодження рослин-біоіндикаторів; дослідити рівні впливу забруднення атмосферного повітря міста на здоров'я населення; оцінити та проаналізувати стан урбоєкосистеми міста за показниками цитогенетичного моніторингу; розробити рекомендації з покращення екологічного стану урбоєкосистеми.

Об'єкт дослідження. Процеси, що протікають в урбоєкосистемі під впливом природних і антропогенних чинників.

Предмет дослідження. Показники оцінювання забруднення атмосферного повітря, ушкодження рослин-біоіндикаторів, цитогенетичний моніторинг.

Матеріали та методи. На сьогодні біоіндикацію вважають найбільш достовірним методом при вивченні антропогенного впливу

на навколишнє середовище. Оскільки антропогенні дії зумовлюють модифікацію природних факторів і тим самим змінюють властивості біологічної системи, слід здійснювати постійний контроль за станом навколишнього середовища, який дозволить отримати адекватні дані про стан біоти та людини [5].

Загально визнаною є думка, що біоіндикація може використовуватись на різних рівнях організації живої матерії: молекулярному, клітинному, організмовому, популяційному, біоценозному. З підвищенням рівня організації біологічних систем зростає і їхня складність, оскільки одночасно все більше ускладнюються їхні взаємозв'язки з факторами місцезнаходження. При цьому біоіндикація на нижчих діалектично включається в біоіндикацію на вищих рівнях, виступаючи в новій якості. Водночас на нижчих рівнях організації біологічних систем переважають прямі й частіше специфічні види біоіндикації, на вищих рівнях панує непряма біоіндикація. В сучасних умовах біоіндикаційні дослідження на рівні організмів проводяться за двома основними напрямками: фіто- та зооіндикація. Курінний А. І. запропонував як індикатори використовувати вищі рослини, а також цитогенетичні обстеження населення. Случик І. Й. застосовував при дослідженні стану урбоєкосистеми м. Івано-Франківська мітотичну активність меристеми зачаткових листків та рівень аберацій хромосом у соматичних клітинах *P. Verolinensis* і *P. Simonii*, а Ареф'єва С. І. в якості індикаторів рекомендує використовувати деревні гриби.

На думку Шуйського В. Ф., Петрова Д. С., Максимова Т. В., індикатором стану водних систем потрібно використовувати угруповання нижчих водних безхребетних тварин, а в деяких наукових роботах як біоіндикатори використовують популяції епіфітних макроліхенів [6].

Всі біоіндикаційні дослідження з різними видами рослин і тварин, які були описані дотепер, вказують на екологічну ситуацію урбоєкосистеми та пропонують шляхи її поліпшення, однак діючі вітчизняні нормативи не оцінюють ризик для здоров'я людини від забруднювачів атмосферного повітря. Тому сьогодні виникає необхідність застосування інших методів оцінки стану навколишнього середовища, за допомогою яких можливо зробити науково обґрунтований прогноз змін у здоров'ї населення залежно від впливу факторів довкілля. Одним із таких методів є методологія оцінки ризику

на здоров'я населення від забруднювачів навколишнього середовища, яка дає можливість визначити реальні навантаження на організм людини шкідливих речовин та здійснити кількісну оцінку ризику виникнення захворювань. Так, Горова А. І., Клімкіна І. І. пропонують використовувати цитогенетичні тестування для оцінки екологічної ситуації та ефективності оздоровлення дітей і дорослих природними адаптогенами.

На нашу думку, найдоцільнішим є використання методів біоіндикації у поєднанні з фітоіндикацією «Стерильність пилку рослин-біоіндикаторів» та цитогенетичних методів дослідження. Доцільно зазначити, що великою популярністю користується скринінг за ушкодженням хромосом, так званий мікроядерний тест (МЯ-тест). Метод відрізняється простотою та оперативністю. Слід відзначити, що МЯ-тест застосовується для обстеження різних верств населення, метою якого є визначення антропогенного впливу на навколишнє середовище. Отже, для оцінки екологічної ситуації за загальним мутагенним фоном нами використовувався скринінговий експрес-метод. Започаткував МЯ-тест вчений-дослідник В. Шмідт у 1975 р. Це метод підрахунку частоти появи МЯ в епітеліоцитах слизової оболонки порожнини рота дітей дошкільного віку.

Мікроядерний аналіз клітин слизової оболонки успішно застосовувався для оцінки вдихання та місцевого впливу генотоксичних агентів, впливу факторів харчування, способу життя та як раннього біомаркера для ракових пухлин [1; 2].

Клітини слизової оболонки щік використовувались для раннього виявлення цитогенетичних пошкоджень [3].

На території України біоіндикаційні дослідження були проведені А. І. Горовою у Дніпропетровській області [7], В. П. Безсоною – у Запорізькій області, Т. І. Великоридько, Т. В. Морозовою – у Чернівецькій, І. Й. Случик – в Івано-Франківській, І. І. Коршиковим, Т. І. Великоридько, А. І. Сафоновим – у Донецькій [8]. На жаль, на території м. Рівного такі дослідження не проводились, тому метою нашої роботи було поєднання та аналіз методики «Стерильність пилку рослин-біоіндикаторів», а також методики оцінки екологічної ситуації за МЯ-тестом в епітеліоцитах слизової оболонки порожнини рота людини.

Перші методи фітоіндикації в екологічних дослідженнях м. Рівного застосували М. О. Клименко та Н. Р. Хомич. Оцінювався стан довкілля за допомогою трав'яних рослин, а саме: визначення частоти стерильних клітин пилку рослин-біоіндикаторів, що ростуть на досліджуваних тест-полігонах.

В цілому, біоіндикаційні дослідження урбанізованих територій м. Рівного мають давні традиції, однак вони характеризуються епізодичністю, безсистемністю та домінуванням фітоіндикаційних досліджень. Тому особливої актуальності та значимості набуло проведення комплексної оцінки екологічного стану м. Рівного з використанням цитогенетичних методів біоіндикації. Урбанізована територія міста потребує детального розгляду питання розробки ефективного алгоритму біоіндикаційних досліджень з метою отримання комплексної інтегральної цитогенетичної оцінки, а також пошуку чутливих біоіндикаторів та інформативних індикаційних ознак, здатних відображати сукупний вплив урбогенних і техногенно зумовлених факторів на популяції.

Методики та методи. Наукові дослідження здійснювали з використанням загальнонаукових методів (аналізу, спостережень, узагальнень), експериментальних і лабораторних досліджень.

Мікроядра виявляли в клітинах епітелію шести-, семирічних дітей. Мазок епітелію брали в стерильних умовах з правої та лівої щік і нижньої губи дітей за попередньою згодою батьків, отриманою на підставі авторського анкетування, за допомогою разових косметичних паличок із ватними наконечниками. Попередню фіксацію матеріалу здійснювали в 96-відсотковому етанолі протягом 15 хв, а основну – в суміші зі спирту, хлороформу та оцтової кислоти у співвідношенні 6:1;1 впродовж 1,5–2 годин. Після основної фіксації матеріал висушували та фарбували ацетокарміном впродовж 15 хв. Мікроядра аналізували під мікроскопом МБИ ($\times 800$; $\times 1500$) у розрахунку по 100 клітин кожного індивідуума.

Всього було обстежено 167 дітей, які проживають на 12 тест-полігонах площею від 4 до 5 км². Загальна кількість проаналізованих епітеліоцитів становила 64950. Одночасно проводили аналіз медико-статистичних даних за класами хвороб, що характеризують стан здоров'я населення міста.

Для оцінки екологічного стану урбоекосистеми за тест-системою була обрана *Taraxacum officinalis* Webb (кульбаба лікарська), яка була присутня на всіх 12 тест-полігонах. Зерна пилку фіксували в момент збору у 70-відсотковому етанолі. Забарвлення препаратів проводили йодним розчином за Грамом. Для розрахунків і порівняння результатів власних досліджень за критерієм вибору умовно-контрольної території обрано смт Нікіта, умови якого мають

«сприятливі» показники (за методикою А. І. Горової МОЗ України, наказ № 116 від 13.03.2007 р.). Статистичну обробку результатів досліджень здійснювали за методом дисперсійного та кореляційного аналізів із використанням пакета програм Microsoft Office 2007, а оцінювання біосистем та екологічної ситуації – за шкалою А. І. Горової 2007, табл. 1.

Таблиця 1

Шкала оцінювання біосистем і екологічної ситуації за мутагенним фоном (за методикою А. І. Горової, 2007 р.)

Значення показника за МЯ-тестом	Показник генетичних ушкоджень (УПП)	Рівень генетичних ушкоджень	Стан біосистем	Екологічна ситуація за мутагенним фоном
0–0,027	0–0,150	Низький	Благополучний	Еталонна
0,028–0,054	0,150–0,300	Нижчий від середнього	Насторожуючий	Задовільна
0,055–0,081	0,301–0,450	Середній	Конфліктний	Незадовільна
0,082–0,108	0,451–0,600	Вищий від середнього	Загрозливий	Незадовільна
0,109–0,135	0,601–0,750	Високий	Критичний	Катастрофічна
0,136–0,180	0,751–1,0	Максимальний	Небезпечний	Катастрофічна

Результати досліджень. Місто Рівне займає площу 64 км², населення становить 246 тис. осіб. Індустріальний профіль міста визначають, в основному, такі галузі: хімічна, виробництва будівельних матеріалів і деревообробка. За даними звітності, в межах урбаністичного комплексу міста розташовано приблизно 60 стаціонарних джерел забруднення довкілля та експлуатується понад 80000 лише легкових автомобілів. Щорічно в атмосферу міста викидається (надходить) від стаціонарних джерел понад 2,9 тис. т, а від пересувних – біля 14 тис. т забруднюючих речовин, що спричиняє перевищення у повітрі гранично допустимих концентрацій (ГДК) за вмістом пилу, оксиду вуглецю, діоксиду азоту, фенолу, бензопірену. Крім цих речовин, у повітрі ідентифікуються діоксид сірки, монооксид азоту, формальдегід, складні ефіри. Середньорічні концентрації важких металів не перевищують встановлених нормативів. Рівень забруднення атмосферного повітря згідно з індексом забруднення (ІЗА) впродовж 2009–2020 рр. змінювався в межах від 11,8 у 2010 р. до 6,25 у 2018 р. Відповідно, рівень забруднення атмосферного повітря в місті впродовж останніх десятиліть оцінюється як підвищений (рис. 1).



Рис. 1. Динаміка викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря

Середньорічна концентрація оксиду вуглецю сягає значень 0,7–1,0 ГДК, а максимальні разові концентрації оксиду вуглецю фіксуються у літні місяці, які змінюються в межах від 2,0 до 2,4 ГДК (ГДК_{мр} = 5 мг/м³).

Дослідженнями впродовж 2006–2010 рр. концентрації розсіювання оксиду вуглецю нами були виявлені зони найбільшого забруднення атмосферного повітря, де мало місце скупчення потоків пересувних джерел забруднення, а саме: тест-полігони VI, VII (центральна частина міста), де перевищення ГДК досягало значень у 2,5–3,4 раза; на полігонах I–IV (північна частина міста), V(західна) ГДК перевищувалось від 1,4 до 1,8 раза; VIII (східна), IX, XII (південна) – від 1,8 до 2,2 раза. Порівняно кращий стан атмосферного повітря за вмістом оксиду вуглецю мав місце на полігонах X, XI, де перевищення концентрації CO не перевищувало значень 0,8–1,0 ГДК (рис. 2).

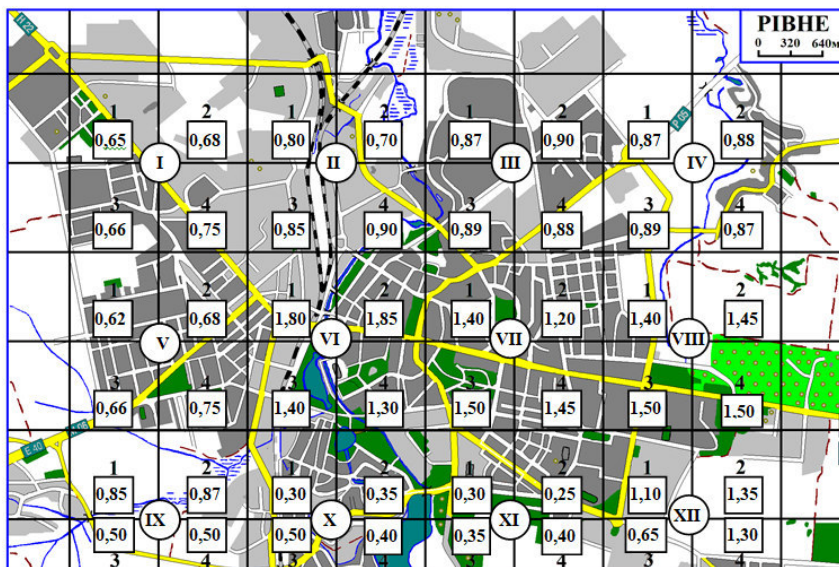


Рис. 2. Концентрації оксиду карбону у повітрі м. Рівне, мг/м³

Одночасно нами було досліджено вплив концентрацій основних забруднювачів атмосферного повітря міста на стерильність пилку *Taraxacum officinalis* Webb за тестом «Стерильність пилку рослин-біоіндикаторів». Установлено, що найменший відсоток стерильних пилкових зерен було виявлено за середніми значеннями 2006–2007 рр. на тест-полігонах X, XI, що становило від 1,05 до 12,3%, а найвищий відсоток стерильності спостерігався на тест-полігонах II, III, VI, VII – від 2,45 до 19,85%.

Аналіз розрахунків умовних показників ушкодженості (УПУ) в 2006 р. засвідчив, що тест-полігони X, XI характеризуються еталонним і сприятливим станом біоіндикаторів із низьким і нижчим за середній рівнем ушкодженості, категорія екологічної безпеки території – безпечна; на тест-полігонах I, VIII, IX, XII – конфліктний і загрозовий стан біоіндикаторів із середнім рівнем ушкодженості, категорія екологічної безпеки території – помірно небезпечна; на тест-полігонах II, VII критичний стан біоіндикаторів із рівнем ушкодженості вищим за середній, категорія екологічної безпеки території – небезпечна (табл. 2).

Таблиця 2

Оцінка стану навколишнього середовища м. Рівне за тест-системою кульбаба лікарська (*Taraxacum officinalis* Webb, середнє за 2006–2007 рр.)

№ досліджуваного тест-полігону		Діапазон УПУ		ІУПУ		Середнє значення ІУПУ	ІУПУ заг.		Середнє значення ІУПУ заг.
		2006 р.	2007 р.	2006 р.	2007 р.		2006 р.	2007 р.	
I	Північна частина міста	0,176-0,659	0,028-0,689	0,341	0,369	0,355	0,417	0,441	0,425
II		0,157-0,928	0,092-0,964	0,549	0,587	0,568			
III		0,186-0,969	0,082-0,933	0,531	0,574	0,552			
IV		0,176-0,917	0,058-0,892	0,507	0,521	0,514			
V	Західна	0,108-0,964	0,054-0,946	0,549	0,512	0,530			
VI	Центральна	0,167-0,989	0,081-0,964	0,574	0,689	0,632			
VII		0,147-0,994	0,076-0,984	0,583	0,598	0,591			
VIII	Східна	0,168-0,866	0,082-0,871	0,378	0,486	0,432			
IX	Південна частина міста	0,049-0,661	0,049-0,744	0,304	0,288	0,296			
X		0,093-0,476	0,033-0,459	0,179	0,162	0,171			
XI		0,137-0,630	0,020-0,553	0,184	0,184	0,184			
XII		0,061-0,825	0,058-0,820	0,326	0,325	0,326			

В цілому за 2006–2007 рр. категорія екологічної безпеки міста оцінюється як помірно небезпечна із середнім рівнем ушкодження та конфліктним і загрозливим станом біоіндикаторів.

Впродовж наступних 2012–2020 рр. за концентрацією розсіювання оксиду вуглецю нами були виявлені зони найвищого забруднення атмосфери міста також, в основному, в місцях скупчення пересувних джерел. На території тест-полігонів VI, VII (центр міста) перевищення концентрації CO становило 3–4 рази; на тест-полігонах I, II, III, IV (північ) та V (захід) ГДК перевищувалось у 1,6–2,3 рази; на VIII (схід) та IX, XII (південь) – у 2,1–2,4 рази.

Результати генетичного біотестування за МЯ-тестом в клітинах слизової оболонки ротової порожнини дітей дошкільного віку, проведеного нами на 12 тест-полігонах у дитячих садочках,

представлені в табл. 3, з якої видно, що середні значення МЯ-індексу на тест-полігонах досягали значень від найменших (0,017) до найвищих (0,037) при середньому $0,028 \pm 0,001$.

Таблиця 3

Рівень пошкоджуваності клітин, стан дитячого організму, екологічна ситуація на територіях міста за показником УПУ, 2011–2015 рр.

№-тест-полігону	Кількість дітей	МЯ-індекс $x \pm a$	УПУ	Рівень ушкодження клітин	Стан дитячого організму за цитогенетичним статусом	Екологічна ситуація за мутагенним фоном
I	12	$0,037 \pm 0,001$	0,203	Нижчий за середній	Насторожуючий	Задовільна
II	14	$0,033 \pm 0,002$	0,185	Нижчий за середній	Насторожуючий	Задовільна
III	14	$0,024 \pm 0,001$	0,136	Низький	Благополучний	Задовільна
IV	15	$0,025 \pm 0,002$	0,138	Низький	Благополучний	Еталонна
V	14	$0,027 \pm 0,002$	0,152	Низький	Благополучний	Еталонна
VI	19	$0,034 \pm 0,001$	0,200	Нижчий за середній	Насторожуючий	Задовільна
VII	12	$0,028 \pm 0,002$	0,153	Нижчий за середній	Насторожуючий	Задовільна
VIII	14	$0,036 \pm 0,002$	0,199	Нижчий за середній	Насторожуючий	Задовільна
IX	12	$0,017 \pm 0,001$	0,094	Низький	Благополучний	Еталонна
X	11	$0,021 \pm 0,001$	0,117	Низький	Благополучний	Еталонна
XI	17	$0,029 \pm 0,001$	0,163	Нижчий за середній	Насторожуючий	Задовільна
XII	13	$0,024 \pm 0,001$	0,134	Низький	Благополучний	Еталонна
Разом	167	$0,028 \pm 0,001$	0,156			

Примітка: $P_{\text{комф.}}=0$; $P_{\text{крит.}}=0,180$

Максимальні значення МЯ-індексів за середніми значеннями були встановлені для тест-полігонів I (0,037); II (0,033); VI (0,034); VIII (0,036). Слід зазначити, що за середніми значеннями цитогенетичних показників у клітинах слизової оболонки порожнини рота дітей міста, найвищі притаманні територіям, де розташовані підприємства та спостерігається інтенсивний рух автотранспорту, а найнижчі були встановлені для тест-полігонів із одноповерховою забудовою (IX) та низькою інтенсивністю автотранспорту. Поряд із цим нами були розраховані умовні показники ушкодження (УПУ) клітин. Відповідно до шкали оцінювання рівня генетичних ушкоджень та оцінки екологічної ситуації за мутагенним фоном, стан дітей на I, II, VI, VIII, XI тест-полігонах оцінюється за градацією: «нижчий від середнього» – рівнем ушкодження клітин; «насторожуючий» – станом дитячого

організму за цитогенетичним статусом; «задовільний» – екологічною ситуацією за мутагенним фоном. На тест-полігонах за номерами III, IX, XII рівень ушкодженості клітин оцінювався як «низький», стан дитячого організму за цитогенетичним статусом як «благополучний», а екологічна ситуація за мутагенним фоном відповідала статусу «еталонна».

У цілому за 2011–2015 рр. екологічна ситуація в місті за МЯ-тестом ($0,028 \pm 0,001$) і УПП (0,156) оцінюється як задовільна з насторожуючим станом біосистем та нижчим за середній рівнем генетичних ушкоджень.

Для з'ясування рівня мутагенного фону території м. Рівного нами проведений порівняльний аналіз мутагенності довкілля деяких міст України. Як свідчать дані досліджень, найбільш високі середні значення МЯ-індексу встановлені для території м. Жовті Води ($0,11 \pm 0,008$) при УПУ 0,633 з перевищенням показників контрольної території смт Нікіта ($0,015 \pm 0,001$ і 0,083) у 7,3-8 разів.

У м. Рівному перевищенням значень МЯ-індексу і УПУ ($0,028 \pm 0,001$ і 0,156) порівняно із смт Нікіта становить величини 1,4–2,2 раза, що свідчить про незначний вплив антропогенних чинників на його мутагенний фон.

Для території м. Чернівці перевищення значень МЯ-індексу, в порівнянні з територією смт Нікіта, сягає значень 4,2–5,7, а для м. Дніпропетровськ ($0,09 \pm 0,009$ і 0,50) перевищення сягає 5,3–8,1 раза, що пов'язано з функціонуванням на їх територіях промислових підприємств та більш інтенсивного руху автотранспорту.

Екологічна ситуація за мутагенним фоном м. Рівному оцінюється як «задовільна», а територія м. Жовті Води як «катастрофічна». Поряд із цим, нами була встановлена взаємозалежність між показниками, які належать до груп індикаторів біотестування, а саме: МЯ-індексу слизової оболонки ротової порожнини дітей дошкільного віку м. Рівного, частоти стерильності клітин зерен пилку рослин-індикаторів, що ростуть на досліджуваних тест-полігонах, поширеності хвороб органів дихання населення.

У результаті кореляційного та регресійного аналізу було отримано залежності, які при коефіцієнтах детермінації R^2 від 0,361 до 0,681 мають вид зростаючих прямих (табл. 4). Згідно з отриманими залежностями при концентрації оксиду карбону у повітрі міста $1,4 \text{ мг/м}^3$ (2,8 ГДК мр) УПУ₁ рослин біоіндикаторів досягне значень

0,60, а УПУ₂ біосистем значень 0,19.

Таблиця 4

Залежність показників індикаторів від максимально разових концентрацій оксиду карбону, мг/м³

Назва показника	Вид залежності	Коефіцієнт детермінації
Умовний показник ушкодження рослин-біоіндикаторів УПУ ₁	$УПУ=0,349x+0,11$	0,681
МЯ-індекс слизової оболонки ротової порожнини дітей дошкільного віку	$МЯ-інд.=0,02125x+0,0061$	0,361
Умовний показник ушкодження біосистем УПУ ₂	$УПУ_2=0,0706x+0,0902$	0,365
Поширеності хвороб органів дихання, у ₁ на 1000 населення	$y_1=1,4196x^2-46,249x+83,363$	0,580

Примітка: x – максимальна разова концентрація оксиду карбону, мг/м³

Розрахунки і дані досліджень засвідчують, що вразливість зерен пилку рослин-біоіндикаторів була значно вищою (за ушкодженістю) в порівнянні з МЯ-індексом, що пояснюється вищою стійкістю до несприятливих екологічних чинників дітей у порівнянні з зернами пилку рослин-індикаторів [9].

Підтвердженням цього факту можуть бути дані, отримані Руденко С. С. та Морозовою Т. В. при оцінці цитогенетичного ризику території Чернівецької області, згідно з якими найвищі значення індексу хромосомних порушень кореневих систем *Allium séra* L. (цибулі) було виявлено саме в тих точках біомоніторингу, де зареєстровано максимальні значення мікроядерного індексу людини [10].

Одночасно ці автори засвідчують, що в деяких точках моніторингу виявлено високі значення індексу хромосомних порушень кореневих меристем цибулі на фоні невисоких значень МЯ-індексу людини, що може свідчити про специфічну чутливість першої тест-ознаки до екологічних чинників, які не впливають на спадковий матеріал людини.

Поряд із цим для підтвердження фактів впливу забруднювачів атмосферного повітря на біологічні об'єкти нами був також проведений кореляційний і регресійний аналіз впливу обсягів викидів забруднюючих речовин до атмосфери міста та рівнями

захворюваності населення.

Установлено, що зростання поширеності хвороб серед населення міста впродовж 1996–2020 рр. відбувається майже синхронно зі зростанням обсягів викидів забруднюючих речовин від стаціонарних і пересувних джерел. Отримані математичні моделі, що описують залежність видів захворювань і сумарних викидів, мають вид степеневих і поліноміальних залежностей. Тісний кореляційний зв'язок ($R^2=0,8-0,95$) між сумарними викидами забруднюючих речовин і хворобами встановлений для наступних видів захворювань: цукрового діабету; ендокринної системи; крові й кровотворних органів; нервової системи; розладів психіки та поведінки; ішемічної хвороби серця; гострого інфаркту міокарда; інсультів; вроджених аномалій; вегето-судинної дистонії.

Отже, зростання поширеності хвороб серед населення міста під впливом зростаючих обсягів викидів забруднюючих речовин до атмосфери також засвідчує, що зростає забруднення ґрунтової системи м. Рівне.

Для зниження захворюваності населення міста необхідно скорочувати обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря шляхом заміни маршрутних таксі на багатомісні автобуси, введення в експлуатацію об'їзної дороги сполучення Луцьк – Житомир, організації одностороннього руху автотранспорту на паралельних центральних вулицях Степана Бандери, Соборна, Чорновола, Княгині Ольги.

Збільшення площ зелених насаджень у місті здійснювати посадкою дерев і кущів стійких до дій екологічних факторів, а саме: ялівця козацького (*Juniperus Sabina* L.); липи серцелистої (*Tilia cordata* Mill.); калини звичайної (*Viburnum opulus* L.); берези повислої (*Betula pendula* Roth.); горобини домашньої (*Surbus domestica* L.); тополі пірамідальної (*Populus italic Du Roi*).

Висновки. На формування екологічного стану м. Рівне впродовж 1996–2017 рр. впливали такі антропогенні чинники, як викиди шкідливих речовин в атмосферу від підприємств у кількості 2060,4–5889,5 т на рік, пересувних джерел – 6820–16200 т на рік. Зростання поширення більшості хвороб у населення м. Рівного відбувається під впливом зростаючих обсягів надходження до атмосферного повітря міста забруднюючих речовин від пересувних джерел. Збільшення показників захворюваності дитячого та дорослого населення міста корелює ($R^2>0,7$) з величинами обсягів викидів забруднюючих речовин як від стаціонарних, так і від пересувних джерел, а також величинами сумарних викидів від них. За показниками

цитогенетичного моніторингу урбоекосистема м. Рівного поділена на зони найбільшого (перевищення ГДК забруднюючих речовин становить 3–4 рази) та найменшого (перевищення ГДК забруднюючих речовин становить 1–2 рази) забруднення атмосферного повітря. Ці зони відрізняються наявністю або відсутністю промислових підприємств, інтенсивністю руху автотранспорту та характером забудови. Застосування тест-системи *Taraxacum officinalis* Webb дало змогу виявити на тест-полігонах II, VII небезпечну категорію екологічної безпеки території, критичний стан біоіндикаторів, вищий за середній рівень ушкодженості біоіндикаторів. На тест-полігонах I, VIII, IX, XII – помірно небезпечну категорію, конфліктний і загрозливий стан біоіндикаторів, середній рівень їх ушкодженості. На тест-полігонах X, XI – безпечну категорію екологічної безпеки території, еталонний і сприятливий стан біоіндикаторів, низький і нижчий за середній рівень їх ушкодженості. Генетичні зміни у клітинах слизової оболонки порожнини рота дітей дошкільного віку, які проживають на тест-полігонах із різним техногенним навантаженням, характеризуються різними показниками МЯ-індексу на одну клітину (0,017–0,037) та умовним показником пошкоджуваності (0,094–0,203). У групах дітей підвищеного генетичного ризику в техногенно навантажених тест-полігонах МЯ-індекс склав 0,201–0,037, а УПП – 0,117–0,203, що є індикатором їх більш поглибленого медичного обстеження з метою подальшого обслуговування. Урбоекосистема м. Рівного перебуває на рівні «нижчий за середній» генетичних ушкоджень, «насторожуючий» за станом біосистеми, «задовільний» за мутагенним фоном. Розроблені на підставі досліджень за цитогенетичним тестом і передані до міської ради Рівного рекомендації щодо доцільності переходу існуючих в місті маршрутних таксі на багатомісні автобуси типу «Євро-5», фінансування будівництва об'їзної траси сполученням Луцьк – Житомир і реорганізації системи дорожнього руху в місті, а саме: організації одностороннього руху транспорту центральною вулицею міста та паралельною вулицею для більшої їх пропускної здатності. Перспективними дослідженнями з інтегральної оцінки стану урбоекосистем слід вважати розробку методу поєднання показників цитогенетичного моніторингу за тест-системою «Стерильність пилку рослин-біоіндикаторів», тестом «Частота епітеліоцитів з мікроядрами в слизовій оболонці ротової порожнини дітей дошкільного віку» та густини потоку радону з ґрунту.

1. Bolognesi C., Bonassi S., Knasmueller S., Fenech M., Bruzzone M., Lando C., Ceppi M. Clinical application of micronucleus test in exfoliated buccal cells: A systematic review and metanalysis. *Mutation Research Reviews in Mutation Research*. 2015. Vol. 766. P. 20–31. URL: <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2015.07.002>.
2. Fenech M., Knasmüller S.,

Bolognesi C., Holland N., Bonassi S., Kirsch-Volders M. Micronuclei as biomarkers of DNA damage, aneuploidy, inducers of chromosomal hypermutation and as sources of pro-inflammatory DNA in humans. *Mutation Research – Reviews in Mutation Research*. 2020. Vol. 786. Article 108342. URL: <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2020.108342>. **3.** Leonardi S., Poma A. M. G., Colafarina S., D'Aloisio F., Scatigna M., Zarivi O., Mastrantonio R., Tobia L., Fabiani L., Leila Fabiani L. Early genotoxic damage through micronucleus test in exfoliated buccal cells and occupational dust exposure in construction workers: a cross-sectional study in L'Aquila, Italy. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2020. Vol. 203. Article 110989. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110989>. **4.** Горова А. І., Бобир Л. Ф., Скворцова Т. В., Дігурко В. М., Климкіна І. І. Методологічні аспекти оцінки мутагенного фону та генетичного ризику для біоти та людини від дії мутагенних екологічних факторів. *Цитологія та генетика*. 1996. № 6 (30). С. 78–86. URL: <https://eurekamag.com/research/047/681/047681438.php>. (дата звернення: 10.02.2026). **5.** Клименко М. О., Хомич Н. Р. Аналіз впливу екологічних факторів на стан здоров'я населення міста Рівне. *Вісник НУВГП*: зб. наук. праць. Рівне, 2007. Вип. 3 (39). С. 97–102. **6.** Rindita, Sudirman L. I., Koesmaryono Y. Air Quality Bioindicator Using the Population of Epiphytic Macrolichens in Bogor City, West Java. *HAYATI Journal of Biosciences*. 2015. Vol. 22, Issue 2. P. 53–59. URL: <https://doi.org/10.4308/hjb.22.2.53>. **7.** Schmid W. The micronucleus test. *Mutation Research/Environmental Mutagenesis and Related Subjects*. 1975. Vol. 31, Issue 1. P. 9–15. URL: [https://doi.org/10.1016/0165-1161\(75\)90058-8](https://doi.org/10.1016/0165-1161(75)90058-8). **8.** Коршиков І. І., Гнатів П. С. Урботехногенне середовище як інтегральний чинник пристосування рослин. *Пром. Ботаніка*. 2003. Вип. 3. С. 78–82. URL: <https://nasplib.isoftware.kiev.ua/handle/123456789/66148>. (дата звернення: 10.02.2026). **9.** Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області у 2018 р. Рівне : Рівненська обласна державна адміністрація, 2019. 300 с. **10.** Руденко С. С., Морозова Т. В. Методика оцінки цитогенетичного ризику територій (на прикладі Чернівецької області). *Система управління екологічними ризиками: наука і практика* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. К. : Центр екологічної освіти та інформації, 2007. С. 75–79.

REFERENCES:

1. Bolognesi C., Bonassi S., Knasmueller S., Fenech M., Bruzzone M., Lando C., Ceppi M. Clinical application of micronucleus test in exfoliated buccal cells: A systematic review and metanalysis. *Mutation Research Reviews in Mutation Research*. 2015. Vol. 766. P. 20–31. URL: <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2015.07.002>. **2.** Fenech M., Knasmüller S., Bolognesi C., Holland N., Bonassi S., Kirsch-Volders M. Micronuclei as biomarkers of DNA damage, aneuploidy, inducers of chromosomal hypermutation and as sources of pro-inflammatory DNA in humans. *Mutation Research – Reviews in Mutation Research*. 2020. Vol. 786. Article 108342. URL: <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2020.108342>. **3.** Leonardi S., Poma A. M. G., Colafarina S., D'Aloisio F., Scatigna M., Zarivi O., Mastrantonio R., Tobia L., Fabiani L., Leila Fabiani L. Early genotoxic damage through micronucleus test in exfoliated buccal cells and occupational dust exposure in construction workers: a cross-sectional study in L'Aquila, Italy. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2020. Vol. 203. Article 110989. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110989>. **4.** Horova A. I., Bobyr L. F., Skvortsova T. V., Dihurko V. M., Klymkina I. I. Metodolohichni aspekty otsinky

mutahennoho fonu ta henetychnoho ryzyku dlia bioty ta liudyny vid dii mutahennykh ekolohichnykh faktoriv. *Tsytolohiia ta henetyka*. 1996. № 6 (30). S. 78–86. URL: <https://eurekamag.com/research/047/681/047681438.php>. (data zvernennia: 10.02.2026). **5.** Klymenko M. O., Khomych N. R. Analiz vplyvu ekolohichnykh faktoriv na stan zdorovia naseleння mista Rivne. *Visnyk NUVHP* : zb. nauk. prats. Rivne, 2007. Vyp. 3 (39). S. 97–102. **6.** Rindita, Sudirman L. I., Koesmaryono Y. Air Quality Bioindicator Using the Population of Epiphytic Macrolichens in Bogor City, West Java. *HAYATI Journal of Biosciences*. 2015. Vol. 22, Issue 2. P. 53–59. URL: <https://doi.org/10.4308/hjb.22.2.53>. **7.** Schmid W. The micronucleus test. *Mutation Research/Environmental Mutagenesis and Related Subjects*. 1975. Vol. 31, Issue 1. P. 9–15. URL: [https://doi.org/10.1016/0165-1161\(75\)90058-8](https://doi.org/10.1016/0165-1161(75)90058-8). **8.** Korshykov I. I., Hnativ P. S. Urbotekhnohenne seredovyshe yak intehralnyi chynnyk prystosuvannia roslyn. *Prom. Botanika*. 2003. Vyp. 3. S. 78–82. URL: <https://nasplib.isofts.kiev.ua/handle/123456789/66148>. (data zvernennia: 10.02.2026). **9.** Dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshecha v Rivnenskkii oblasti u 2018 r. Rivne : Rivnenska oblasna derzhavna administratsiia, 2019. 300 s. **10.** Rudenko S. S., Morozova T. V. Metodyka otsinky tsytohenetychnoho ryzyku terytorii (na prykladi Chernivetskoii oblasti). *Systema upravlinnia ekolohichnymy ryzykamy: nauka i praktyka* : materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii. K. : Tsentralna ekolohichnoi osvity ta informatsii, 2007. S. 75–79.

Klymenko O. M. [1; ORCID ID: 0000-0002-2047-8824],

Doctor of Agricultural Sciences, Professor,

Klymenko L. V. [1; ORCID ID: 0000-0002-0591-9265],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor,

Kaskiv M. V. [1; ORCID ID: 0000-0002-6914-0867],

Candidate of Biological Sciences (Ph.D.), Associate Professor

¹National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

CYTOGENETIC MONITORING AS THE METHOD OF INTEGRAL EVALUATION OF URBAN SYSTEM STATE OF RIVNE

There is regularly registered exceeding of norms in the atmospheric air of Rivne as to the content of nitrogene dioxide, benzopyrene, carbon oxide, phenol dioxide of sulphur, formaldehyde and other mutagens.

The object of the work was aimed at the evaluation of urban ecosystem state of Rivne as to the indices of cytogenetic monitoring.

The following methods have been used: according to the test: «The frequency of epithelium-cytes with micronucleus in the mucous coat of oral cavity for pre-school age children (MN test)» and the test-system *Taraxacum officinalis* Webb «The sterility of plants-bioindicators pollen».

The statistic working up of the research results was carried out using the block of programmes Microsoft Office 2007.

Scientific novelty and practical significance of the work was based on

the evaluation of ecological state of the city according to the test «The sterility of pollen *Taraxacum Officinale* Webb».

On the whole, within the years 2006–2007 ecological situation in the city according to this test is estimated as moderately dangerous with conflict and threatening state of bioindicators and medium level of their damage.

As for the concentration of CO dispersion there were discovered zones of the highest pollution of the atmospheric air of Rivne Simultaneously biotesting by micronucleus test of the children under school age residing the areas of twelve test-zones was carried out.

It is ascertained that medium value of micronucleus index in the test-zones reached the value from the lowest 0,017 to the highest 0,037 (medium $0,028 \pm 0,001$).

The highest values of micronucleus index were discovered in the territories of the city where there are located enterprises and where there is intensive traffic. The lowest ones were discovered in the territory with one-storeyed buildings.

On the whole, within the years 2011-2015 ecological situation of the city according to micronucleus test is estimated as satisfactory with alerting state of biosystems and lower than medium level of genetic damage.

It is confirmed that the growth of summary volumes of pollutants emission coming into the city atmosphere is accompanied by the growth of diseases being spreading among city residents.

Key words: biotesting; plants-bioindicators; conversional indicator of damage; epithelium cells; micronucleus test; cytogenetic damage; mucous coat; ecological condition; test-zone; morbidity.

Отримано / Received: 02.03.2026

Прийнято до друку / Accepted: 16.03.2026

Опубліковано / Published: 27.03.2026



© 2026 [Klymenko O. M., Klymenko L. V., Kaskiv M. V.]. Licensee {NUWEE}. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org)

УДК 631.452:631.42(477.81)

<https://doi.org/10.31713/vs120268>

Клименко М. О. [1; ORCID ID: 0000-0003-0892-0648],

д.с.-г.н., професор,

Рабешко Я. І. [1; ORCID ID: 0009-0005-7262-9603],

здобувач третього рівня освіти

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ОЦІНКА РОДЮЧОСТІ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ БАСЕЙНУ РІЧКИ УСТЯ ЗА ПОКАЗНИКАМИ КОМПЛЕКСНОГО АГРОХІМІЧНОГО БАЛА

У статті аналізуються основні показники родючості світло-сірих, темно-сірих, лісових опідзолених і чорноземних опідзолених ґрунтів басейну р. Устя за 2011–2022 рр.

Ґрунтовий покрив басейну сформований здебільшого на лесовидних суглинках і лесах. Світло-сірі опідзолені лісові ґрунти Здолбунівського району (с. Орестів) характеризуються вмістом гумусу – 2,4%, середнім вмістом легкогідролізованого азоту – 115 мг/кг, високим вмістом рухомого фосфору – 180 мг/кг, низьким вмістом обмінного калію – 65 мг/кг, величина показника рН в межах 5,8. Темно-сірі опідзолені лісові ґрунти Рівненського району (с. Забороль, с. Рисв'янка, с. Котів) характеризуються вмістом гумусу 2,3%, 2,2%, 2,1%, легкогідролізованого азоту 89, 89, 106 мг/кг, високим вмістом рухомого фосфору 167, 236, 203 мг/кг, величиною показника рН від 5,9 до 6,3.

Чорноземи опідзолені слабодеградовані ґрунти Острозького району (с. Оженин) характеризуються вмістом гумусу 3%, вмістом легкогідролізованого азоту 137 мг/кг, дуже високим вмістом рухомого фосфору 356 мг/кг, вмістом рухомого калію 142 мг/кг, величиною показника рН 6,6.

За вмістом мікроелементів досліджувані ґрунти оцінюються: високим вмістом бору, кобальту; середнім вмістом марганцю, сірки; низьким вмістом міді і цинку.

За показниками комплексного агрохімічного бала на період 2011–2015 рр. світло-сірі лісові ґрунти оцінювалися 56 балами, темно-сірі лісові – оцінювалися 50, 53, 62 балами, а чорноземні ґрунти 67 балами. На період 2021–2022 рр. світло-сірі лісові ґрунти покращили свою родючість і оцінювалися 56 балами.

Темно-сірі лісові ґрунти у с. Забороль і с. Рисв'янка підвищували рівень родючості до 52, 55 балів, а у с. Котів мало місце зниження рівня родючості ґрунтів до 58 балів. Чорноземні ґрунти в с. Оженин також знижували свій рівень родючості до 66 балів.

Для підтримання у перспективі високої якості чорноземів опідзолених, підвищення середньої якості до високої у світло-сірих і

темно-сірих опідзолених ґрунтах басейну річки Устя рекомендується, за рахунок внесення в них розрахованих норм азотних і калійних добрив, для усунення станів першого і другого мінімуму, довести вміст цих елементів у досліджуваних ґрунтах до високого їх вмісту. А для збільшення у ґрунтах вмісту міді і цинку застосовувати азотні добрива: сульфат амонію, який містить до 500 мг/кг цинку; 0,3–1,0 мг/кг міді та 40% калійну сіль, яка містить 1–3 мг/кг цинку і до 10 мг/кг міді.

Ключові слова: показники родючості; макроелементи; мікроелементи; категорії якості; комплексний агрохімічний бал; розбалансування; мінімум; максимум.

Постановка проблеми. Ґрунтовий покрив є одним з основних компонентів довкілля, що виконує життєво важливі біосферні функції, а родючість – найціннішою його властивістю. Тому важливо тримати її на високому рівні для отримання хороших урожаїв, а вимогою до землекористувачів є постійна турбота про охорону ґрунту, його структури і властивостей, здійснення системи заходів з підвищення родючості, а саме внесення оптимальних норм органічних і мінеральних добрив, підтримання науково обґрунтованих сівозмін, вапнування ріллі з високим рівнем кислотності та використання сучасних систем землеробства.

За даними досліджень в орні землі Рівненської області до 1993 року вносилося 16,2 т/га органічних добрив, 90 кг/га азотних добрив, 48 кг/га фосфорних добрив, 86 кг/га калійних добрив, що давало можливість тримати баланс гумусу позитивним [1]. В наступні роки спостерігається від'ємний баланс гумусу в орних землях, що призводить до їх дегуміфікації та втрати родючості ґрунту, як наслідок того, що вноситься значно менша кількість органічних та мінеральних добрив, що призводить також до погіршення їх агрохімічного стану. Виходячи з цього постає завдання проведення досліджень кількісної та якісної оцінки стану орних земель за комплексним агрохімічним балом [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ґрунтовий покрив зони Лісостепу внаслідок використання п'ятипільних сівозмін з вирощуванням пшениці озимої, сої, соняшнику, ріпаку, кукурудзи без внесення органічних добрив і вирощування багаторічних трав, зазнає деградаційних змін від зниження вмісту гумусу, підкислення, зменшення або розбалансування вмісту у ґрунтах макро- і мікроелементів [3–5].

В роботі [6] зазначається, що нині в Україні існує загроза посилення деградаційних процесів, в тому числі дегуміфікації, підкислення, водної ерозії і дефляції, переущільнення, що обумовлюється недотриманням або спрощенням технологій обробітку ґрунту.

При проведенні агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення у період 1986–2005 років було за прогнозами виявлено зменшення в ґрунтах України вмісту гумусу майже на 0,5% в абсолютних одиницях [7].

За даними агрохімічних обстежень орних земель Рівненської області, було встановлено, що за вмістом в них гумусу впродовж 1986–2010 років спостерігалось його зниження у зоні Лісостепу з 2,42% до 2,25% [8]. Важливу роль в родючості ґрунтів відіграють рівні забезпечення їх макроелементами. За висновками [9] мінімум і максимум вмісту у ґрунтах доступного рослинам елемента, зменшує ефективність інших елементів, внаслідок чого врожайність культури знижується, погіршується і якість продукції. На сьогодні ґрунти зони Лісостепу здебільшого характеризуються розбалансуванням в них вмісту макроелементів.

Так за даними досліджень у Чернівецькій області [10] було встановлено, що орні землі мали наступні ступені забезпечення: за вмістом легкогідролізованого азоту – дуже низькі (61,3%) і низькі (35,8%); рухомого фосфору з підвищеним вмістом (35,8%); обмінного калію дуже високого вмісту (63,3%).

Наявність деградаційних процесів в ґрунтах України потребує проведення досліджень з кількісної і якісної оцінки цих небажаних змін в часі за агрохімічними показниками. Відповідно до Закону України «Про охорону земель» у державі здійснюється агрохімічна паспортизація земель сільськогосподарського призначення з періодичністю один раз на п'ять років. На думку авторів [11; 12], комплексна оцінка агроекологічного стану ґрунтів Чернігівської і Київської областей дозволяє обґрунтувати рекомендації для запобігання деградаційним процесам, охорони і збалансованого використання ґрунтів.

Застосування комплексної оцінки агрохімічного стану ґрунтів у басейнах річок дозволить не лише оцінювати їх стан за показниками, але і здійснювати прогноз їх змін для своєчасного запобігання деградаційним процесам на прикладі р. Устя.

Наші дослідження спрямовані на вивчення саме цієї актуальної проблеми.

Мета і завдання досліджень. Мета досліджень полягає у

проведенні комплексної оцінки родючості ґрунтового покриву басейну річки Устя за показниками комплексного агрохімічного бала (КАБ).

Досягнення мети передбачало вивчення наступних завдань: проведення комплексної агрохімічної оцінки ґрунтового покриву басейну річки Устя в балах; аналіз КАБ ґрунтового покриву басейну річки Устя; аналіз динаміки показників.

Об'єкт дослідження. Процеси змін агрохімічного стану орних земель басейну річки Устя.

Предмет дослідження. Ґрунти орних земель, показники, які характеризують їх властивості.

Методи та методика досліджень. Лабораторні аналізи ґрунту проводили за методиками: вміст гумусу – за Тюріним (ДСТУ 4289:2004); лужногідролізованого азоту – за Корнфілдом (ДСТУ 4729:2007); рухомого фосфору й обмінного калію – за Кірсановим та Мачигіним (ДСТУ 4405:2005 та ДСТУ 4114:2002); рН – потенціометрично (ГОСТ 26485-85); гідролітичну кислотність – за Каппеном (ГОСТ 26212-84); суму ввібраних основ – шляхом витіснення з ґрунту 0,1Н розчином НСІ з подальшим титруванням 0,1Н розчином NaOH (ГОСТ 26428-85); вміст обмінного кальцію і магнію – комплексометрично (ГОСТ 26490-85); рухомі форми міді, марганцю, цинку – за допомогою атомно-абсорбційного методу (ГОСТ 10144-88, ГОСТ 10145-88, ГОСТ 10147-88); кобальт (ГОСТ 10146-88); бору – за Бергера і Труога на основі фотометричного методу (ГОСТ 10150-88); визначення кислоторозчинних форм важких металів (свинцю, кадмію, цинку, міді) – шляхом застосування атомно-абсорбційного методу.

Ґрунти оцінювали відносно еталонного ґрунту за всіма агрохімічними показниками шляхом обчислення середньозведеного показника [2]. Він є агрохімічною оцінкою ґрунту поля, що характеризує рівень його родючості. За еталон приймають не максимальне, а оптимальне значення показника (за виключенням гумусу), що відповідає закону оптимуму.

Для вмісту гумусу еталонне значення відповідає величині – 6,2%; запасів продуктивної вологи у шарі 0–100 см – 200 мм; суми увібраних основ – 30 ммоль/100 г; легкогідролізованого азоту – 225 мг/кг ґрунту; рухомого фосфору – 200 мг/кг ґрунту; обмінного калію – 220 мг/кг ґрунту; цинку – 5,1 мг/кг ґрунту; марганцю – 21 мг/кг ґрунту; міді – 0,51 мг/кг ґрунту; кобальту – 0,31 мг/кг ґрунту; бору – 0,71 мг/кг ґрунту; сірки – 12 мг/кг ґрунту.

Алгоритм розрахунку агрохімічного бала ґрунту включає два етапи, а саме: розрахунок бала за окремими показниками родючості ґрунту; розрахунок комплексного агрохімічного бала земельної

ділянки.

Для розрахунку бала за окремими показниками родючості ґрунту використовували формулу:

$$B_i = \frac{a_i \times 100}{b_i},$$

де B_i – бал показника родючості ґрунту;

a_i – бал ґрунту за вмістом i -го показника родючості ґрунту;

b_i – еталонне значення i -го показника родючості ґрунту.

Якщо фактичне значення окремого показника родючості ґрунту перевищує еталонне, то ґрунт за цим показником отримує оцінку в 100 балів.

За отриманими балами агрохімічних показників ґрунту та поправочним коефіцієнтом на реакцію ґрунтового розчину розраховували комплексний агрохімічний бал земельної ділянки середньоарифметичним методом. Враховуючи, що частка мікроелементів у формуванні родючості ґрунту менша від інших показників (вміст гумусу, макроелементів), розраховується середньозведене значення бала за сумою п'яти мікроелементів, які виступають як один показник, що за значимістю прирівнюється до окремих показників.

Розрахунок агрохімічного бала ґрунтів проводили за формулою:

$$B = \frac{B_{\text{гум}} + B_{\text{ммзпв}} + B_{\text{осн}} + B_N + B_P + B_K + B_S + \left(\frac{B_{Mn} + B_{Zn} + B_{Cu} + B_V + B_{Co}}{n} \right)}{n} * K_{pH},$$

де B – комплексний агрохімічний бал ґрунтів;

$B_{\text{гум}} \dots B_{Zn}$ – бал за окремими показниками родючості ґрунту;

n – кількість доданків у чисельнику;

K_{pH} – поправочний коефіцієнт на реакцію ґрунтового розчину.

Результати дослідження. Басейн р. Устя лежить в межах Луцько-Рівненської височини та займає територію Рівненської області. В дослідженні використано дані з 5 точок спостереження: с. Оженин, Острозького району; с. Орестів, Здолбунівського району; с. Забороль, с. Котів, с. Рисв'янка, Рівненського району. Ґрунтовий покрив басейну р. Устя сформувався здебільшого на лесовидних суглинках і лесах й представлений сірими лісовими та чорноземами малогумусними типами зі слідами опідзолення, у заплавах річки – торфово-болотними ґрунтами.

Темно-сірі опідзолені лісові ґрунти Рівненського району (с. Забороль, с. Котів, с. Рисв'янка) характеризуються вмістом гумусу 2,3%, 2,2%, 2,1%; легкогідролізованого азоту 89, 89, 106 мг/кг; обмінного калію 71, 147, 91 мг/кг; високим вмістом рухомого фосфору 167, 236, 203 мг/кг; сумою увібраних основ в ґрунті 15, 17, 19 ммоль/100 г, запасами продуктивної вологості 167, 164, 161 мм. Реакція ґрунтового покриву коливалась в межах 5,9–6,3 (табл. 1).

Світло-сірі опідзолені лісові ґрунти Здолбунівського району

(с. Орестів) характеризуються вмістом гумусу 2,4%, середнім вмістом легкогідролізованого азоту 115 мг/кг, високим вмістом рухомого фосфору 180 мг/кг, низьким вмістом обмінного калію 65 мг/кг відповідно, сумою увібраних основ в ґрунті 16 ммоль/100 г, запасами продуктивної вологості 156 мм. Реакція ґрунтового покриву в межах 5,8 (табл. 1).

Чорноземні опідзолені і слабодеградовані ґрунти Острозького району, с. Оженин характеризуються низьким вмістом гумусу – 3%, вмістом легкогідролізованого азоту 137 мг/кг, високим вмістом рухомого фосфору – 356 мг/кг та вмістом обмінного калію 142 мг/кг, сумою увібраних основ в ґрунті 21 ммоль/100 г, запасами продуктивної вологості 150 мм. Реакція ґрунтового покриву 6,6 (табл. 1).

За вмістом сірки світло-сірі лісові ґрунти при вмісті у 2022 році 7,2 мг/кг характеризувалися як середньо забезпечені, темно-сірі лісові, при вмісті сірки 4,6; 4,65; 4,75 мг/кг, оцінюються низьким рівнем забезпечення, чорноземи опідзолені з вмістом сірки 6,25 мг/кг оцінюються середнім рівнем забезпеченості. За вмістом марганцю досліджувані ґрунти оцінюються підвищеним до 15 мг/кг і дуже високим вмістом до >20 мг/кг, за вмістом цинку як з дуже низьким рівнем забезпеченості <1,1 мг/кг; за вмістом міді як з низьким рівнем <0,15 мг/кг, так і середнім, і підвищеним рівнями забезпеченості >0,20 мг/кг. За вмістом кобальту як з високим і дуже високим рівнями забезпеченості >0,21 мг/кг; за вмістом бору як з дуже високим рівнем забезпеченості >0,7 мг/кг.

Результати розрахунку комплексного агрохімічного бала (КАБ), за окремими показниками родючості ґрунтів, здійснювали з використанням поправочного коефіцієнта K_{pH} для зони Лісостепу 5,6–6 $K_{pH} = 0,96$, >6 $K_{pH} = 1,0$. Як видно з таблиці 2 із 2011 по 2022 рр. вміст гумусу у дослідних ґрунтах за бальною шкалою мав позитивну динаміку.

У світло-сірих ґрунтах с. Орестів мало місце зростання бала по вмісту гумусу від 35 балів у 2011–2015 рр. до 42 балів у 2021–2022 рр.

Дані агрохімічного паспорту земельних ділянок за 2011–2022 рр.

Назва	ММЗПВ	Сума увібраних основ	2011–2015 рр.										
			гумус	pH _{кс}	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Mn	Zn	Cu	Co	B
	мм	мг/100г	%	мг/кг									
с. Орестів	156	18,36	2,18	5,84	114,8	193,6	61	5,78	10,512	0,588	0,114	0,284	0,586
с. Оженин	150	26,16	3,02	6,68	149	317,8	122,6	6,44	11,51	0,454	0,1	0,26	0,996
с. Забороль	167	16,04	1,96	5,58	88,8	142,2	63,8	6,38	11,868	0,636	0,118	0,23	0,664
с. Рисв'янка	161	15,76	1,86	6,16	105	190,6	71,6	5,3	13,376	0,554	0,11	0,28	0,694
с. Котів	164	21,76	2,04	6,84	91,2	199	111,2	5,38	21,95	0,69	0,19	0,502	0,72
Назва	ММЗПВ	Сума увібраних основ	2016–2020 рр.										
			гумус	pH _{кс}	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Mn	Zn	Cu	Co	B
	мм	мг/100г	%	мг/кг									
с. Орестів	156	15,4	2,48	5,82	124,6	207,2	65,2	6,66	12,088	0,482	0,144	0,296	0,602
с. Оженин	150	18,18	2,92	6,6	137,8	291,3	121,8	6,06	15,096	0,362	0,128	0,274	1,104
с. Забороль	167	13,6	2,34	6,06	106	178,8	63,6	5,34	15,502	0,654	0,136	0,292	0,648
с. Рисв'янка	161	19,52	2,04	6,24	99	205,3	86,2	5,24	17,262	0,732	0,118	0,324	0,744
с. Котів	164	13,38	2,44	6,52	86,6	253,8	142,4	5,1	22,393	0,986	0,206	0,422	0,726
Назва	ММЗПВ	Сума увібраних основ	2021–2022 рр.										
			гумус	pH _{кс}	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Mn	Zn	Cu	Co	B
	мм	мг/100г	%	мг/кг									
с. Орестів	156	13,6	2,6	5,8	104	204	71	7,2	11,77	0,475	0,155	0,345	0,69
с. Оженин	150	18,25	3,1	6,6	148	288,5	141	6,25	16,15	0,405	0,14	0,3	1,315
с. Забороль	167	14,25	2,35	6,2	85,5	182	71	4,6	16,055	0,65	0,16	0,295	0,745
с. Рисв'янка	161	19,6	2,15	6,0	91,5	214,5	84	4,65	16,82	0,75	0,14	0,285	0,86
с. Котів	164	14,95	2,5	5,65	84,5	256	142,2	4,75	22,24	0,975	0,22	0,42	0,73

У темно-сірих ґрунтах зростання вмісту гумусу становило величини у період 2011–2025 рр. у с. Забороль – 32, с. Рисв'янка – 30, с. Котів – 33 балів, а у 2021–2022 рр. – 38, 35, 40 балів відповідно (табл. 2).

У чорноземних ґрунтах с. Оженин вміст гумусу у 2011–2015 рр. оцінювався 48 балами, а у 2021–2022 рр. він зріс до 50 балів, що становить лише 2 бали.

Реакція ґрунтового розчину у досліджуваних ґрунтах за період досліджень майже не змінювалась, окрім темно-сірих лісових ґрунтів с. Забороль, де показник рН протягом 2011–2015 рр. оцінювався 5,58, а в 2021–2022 рр. 6,2, що стало наслідком внесення вапна. Одночасно в темно-сірих лісових ґрунтах с. Котів навпаки, значення показника рН знизилось з 6,84 у 2011–2015 рр. до 5,65 у 2021–2022 рр.

Аналіз показників суми увібраних основ засвідчує негативну динаміку їх змін впродовж періоду з 2011 р. до 2022 р., а саме: у світло-сірих ґрунтах с. Орестів з 61 до 45 балів; темно-сірих ґрунтах з 53 до 48 балів с. Забороль; з 53 до 65 балів с. Рисв'янка; з 73 до 50 балів с. Котів; у чорноземних ґрунтах з 87 до 61 бала с. Оженин.

За вмістом легкогідролізованого азоту на всіх типах досліджуваних ґрунтів, окрім чорноземних ґрунтів с. Оженин, де він залишився без змін і оцінювався 66 балами, спостерігалось впродовж 2011–2022 рр. його зниження, а саме: у світло-сірих ґрунтах с. Орестів з 51 до 46 балів, темно-сірих ґрунтах с. Забороль з 39 до 38 балів, с. Рисв'янка з 47 до 41 бала, с. Котів з 41 до 38 балів. Причиною зниження вмісту легкогідролізованого азоту у досліджуваних ґрунтах впродовж досліджуваного періоду слід вважати наслідком зменшення обсягів внесення азотних добрив та виніс його з врожаєм.

Згідно з даними таблиці 2 в усіх типах досліджуваних ґрунтів басейну спостерігається стабільно високий рівень забезпечення їх рухомими сполуками фосфору з оцінками у балах у період 2011–2015 рр. від 71 до 100, а у період 2021–2022 рр. – 91–100, як наслідок внесення фосфорних добрив.

За вмістом рухомих форм обмінного калію в усіх типах досліджуваних ґрунтів мало місце впродовж 2011–2022 рр. їх зростання, а саме: у світло-сірих ґрунтах с. Орестів з 28 до 32 балів, темно-сірих ґрунтах с. Забороль з 29 до 32 балів, с. Рисв'янка з 33 до 38 балів, с. Котів з 51 до 65 балів; чорноземах з 56 до 64 балів с. Оженин. Незважаючи на зростання у ґрунтах вмісту обмінного калію, цей елемент живлення рослин залишається серед макроелементів у першому мінімумі і потребує збільшення норми внесення калійних добрив.

У динаміці зміни вмісту сірки у всіх типах ґрунтів, окрім світло-сірих с. Орестів, де він зростав з 48 до 60 балів, спостерігалось впродовж 2011–2022 рр. його зниження у темно-сірих ґрунтах на 15; 5,5 балів, а у чорноземах – на 2 бали, що потребує корегування вмісту сірки у цих ґрунтах за рахунок внесення сірковмісних добрив.

За вмістом рухомих форм мікроелементів в усіх типах ґрунтів впродовж 2011–2022 рр. відмічається достатньо високе їх забезпечення бором 97–100 балів, кобальтом 92–100 балів, середнє марганцем 56–100 балів, низьке по міді 27–43 бали, дуже низьке по цинку 8–43 бали (табл. 2).

Розрахунки комплексного агрохімічного бала, згідно з методикою [2], представлені у таблиці 3. Як видно з табл. 3 КАБ у світло-сірих лісових ґрунтах впродовж 2011–2022 рр. зростав лише на 2 бали і у 2022 році досягнув значень 56 балів і належить до категорії ґрунтів середньої якості V класу (шкала V класу 51–60 балів). Темно-сірі лісові ґрунти з КАБ: с. Забороль у 2011–2015 рр., маючи 50 балів, покращили свій стан і у 2021–2022 рр. досягли рівня 52 бали і перейшли з VI (шкала VI класу 41–50 балів) до V класу, категорії середньої якості. Ґрунти с. Рисв'янка у 2011–2015 рр., маючи 53 бали, також поліпшували свій стан і у 2021–2022 рр. досягли рівня 55 балів, та належать до V класу категорії середньої якості. Ґрунти с. Котів, що у 2011–2015 рр. оцінювались 62 балами і належали до IV класу (шкала IV класу 61–70 балів), понизили свій рівень якості та у 2021–2022 рр. стали оцінюватись 58 балами і перейшли у V категорію (шкала V класу 51–60 балів) середньої якості.

Чорноземні ґрунти з КАБ у с. Оженин, що у 2011–2015 рр. належали до IV категорії високої якості, у 2021–2022 рр. понизили свою якість та оцінювались 66 балами, залишаючись у категорії високої якості.

Таблиця 2

Результати розрахунку комплексного агрохімічного бала за окремими показниками родючості в ґрунті за період 2011–2022 рр.

Назва	ММЗПВ	Сума увібраних основ	2011–2015 рр.										КАБ
			гумус	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Mn	Zn	Cu	Co	B	
бал													
с. Орестів	78	61	35	51	97	28	48	50	12	22	92	83	54
с. Оженин	75	87	48	66	100	56	54	55	9	20	84	100	67
с. Забороль	84	53	32	39	71	29	53	57	12	23	74	94	50
с. Рисв'янка	81	53	30	47	95	33	44	64	11	22	90	98	53
с. Котів	82	73	33	41	99	51	45	100	14	37	100	100	62
Назва	ММЗПВ	Сума увібраних основ	2016–2020 рр.										КАБ
			гумус	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Mn	Zn	Cu	Co	B	
бал													
с. Орестів	78	51	40	55	100	30	56	58	9	28	95	85	56
с. Оженин	75	61	47	61	100	55	51	72	7	25	88	100	64
с. Забороль	84	45	38	47	89	29	45	74	13	27	94	91	52
с. Рисв'янка	81	66	33	44	100	39	44	82	14	23	100	100	56
с. Котів	82	45	39	38	100	65	43	100	19	40	100	100	60
Назва	ММЗПВ	Сума увібраних основ	2021–2022 рр.										КАБ
			гумус	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Mn	Zn	Cu	Co	B	
бал													
с. Орестів	78	45	42	46	100	32	60	56	9	30	100	97	56
с. Оженин	75	61	50	66	100	64	52	77	8	27	97	100	66
с. Забороль	84	48	38	38	91	32	38	76	13	31	95	100	52
с. Рисв'янка	81	65	35	41	100	38	39	80	15	27	92	100	55
с. Котів	82	50	40	38	100	65	40	100	19	43	100	100	58

Таблиця 3

Результати комплексного агрохімічного бала
за період 2011–2015 роки

Назва	Комплексний агрохімічний бал		
	2011–2015 рр. тур X	2016–2020 рр. тур XI	2021–2022 рр. тур XII
с. Орестів	54	56	56
с. Оженин	67	64	66
с. Забороль	50	52	52
с. Рисв'янка	53	56	55
с. Котів	62	60	58

Для підтримання у перспективі високої якості чорноземів опідзолених, підвищення середньої якості до високої у світло-сірих і темно-сірих опідзолених лісових ґрунтах басейну р. Устя рекомендується за рахунок внесення розрахованих норм азотних і калійних добрив, для усунення стану першого і другого мінімуму, довести вміст цих елементів у ґрунтах до рівня високого вмісту, а саме: легкогідролізованого азоту > 200 мг/кг; калію > 151 мг/кг. А для забезпечення оптимального живлення сільськогосподарських культур міддю і цинком у якості азотних добрив використовувати сульфат амонію, який містить до 500 мг/кг цинку і 0,3–10 мг/кг міді та 40% калійну сіль, що містить 1–3 мг/кг цинку та до 10 мг/кг міді.

Висновки. За показниками родючості ґрунти басейну р. Устя на період 2021–2022 рр. характеризуються наступним чином: низьким вмістом гумусу від 2,1 до 3%; низьким вмістом легкогідролізованого азоту від 89 до 137 мг/кг; високим і дуже високим вмістом рухомого фосфору від 167 до 356 мг/кг; низьким і середнім вмістом обмінного калію від 65 до 142 мг/кг; високим вмістом бору, кобальту, середнім марганцю, сірки, низьким міді і цинку.

За комплексним агрохімічним балом, на період 2021–2022 рр., сірі лісові і чорноземні ґрунти оцінюються: світло-сірі – 56 балами, темно-сірі – 52,55,58 балами, V категорією, середньою якістю. Чорноземи опідзолені – 67 балами, IV категорією, високою якістю.

Для підтримання позитивної тенденції підвищення якості сірих лісових і чорноземних ґрунтів басейну р. Устя рекомендується збільшити норми внесення азотних і калійних добрив з метою оптимізації балансу і рівноваги між макро- і мікроелементами у ґрунтах та забезпечення високого рівня рослин їх рухомими формами. А для підвищення у досліджуваних ґрунтах вмісту міді і цинку в якості азотних добрив необхідно використовувати сульфат амонію і 40% калійну сіль, які містять цинк і мідь.

1. Долженчук В. І. Агроекологічний стан ґрунтового покриву Рівненської області : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. Житомир, 2010. 20 с. 2. Яцук І. П., Балюк С. А. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення : керівний нормативний документ. 2-ге вид., допов. Київ, 2019. 108 с. 3. Клименко М. О., Клименко О. М., Долженчук В. І., Онищук Н. В. Оцінка агроекологічного стану орних земель лісостепової частини Рівненської області. *Вісник НУВГП. Сільськогосподарські науки*. Рівне : НУВГП, 2019. Вип. 2(86). С. 3–15. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs220191>. 4. Клименко М. О., Варжель О. В., Рабешко Я. І. Оцінка агроекологічного стану орних земель басейну річки Устя. *Вісник НУВГП. Сільськогосподарські науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2025. Вип. 1(109). С. 55–68. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs120255>. 5. Балюк С. А., Медведєв В. В., Воротинцева Л. І., Шимель В. В. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального рівня. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 8. С. 5–11. URL: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201708-01>. 6. Яцук І. П., Моклячук Л. І., Ліщук А. М., Романова С. А. Інноваційний розвиток сільського господарства за використанням індикаторів «зеленого зростання». *Агроекологічний журнал*. 2019. № 2. С. 6–16. URL: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2019.174011>. 7. Медведєв В. В., Булигін С. Ю., Балюк С. А. та ін. Стан родючості ґрунтів України та прогноз його змін за умов сучасного землеробства : монографія / за ред. Медведєва В. В., Лісового М. В. Харків : Штріх, 2001. 100 с. 8. Клименко М. О., Прищепка А. М., Варжель О. В. Обґрунтування технологій забезпечення екологічної безпеки агросфери Рівненської області : монографія. Рівне : НУВГП, 2024. 154 с. 9. Городній М. М. Агрохімія : підручник. 4-те вид., переробл., і допов. Київ : Арістей, 2008. 936 с. 10. Гунчак М. В., Пасічник В. І., Грищенко О. М., Колесник Т. М. Стан родючості ґрунтів Лісостепової зони Чернівецької області. *Вісник НУВГП. Сільськогосподарські науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2025. Вип. 2 (110). С. 80–93. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs220256>. 11. Москальов Є. П. Комплексна оцінка агроекологічного стану орних земель Чернівецької області та обстеження заходів, щодо його поліпшення : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. Київ, 2004. 20 с. 12. Ракоїд О. О. Методичні підходи до комплексної оцінки агроекологічного стану сільськогосподарських земель на регіональному рівні. *Вісник Степу* : науковий збірник. Кіровоград : Центрально-Українське видавництво, 2005. С. 107–108.

REFERENCES:

1. Dolzhenchuk V. I. Ahroekolohichnyi stan gruntovoho pokryvu Rivnenskoï oblasti : avtoref. dys. ... kand. s.-h. nauk. Zhytomyr, 2010. 20 s. 2. Yatsuk I. P., Baliuk S. A. Metodyka provedennia ahrokhimichnoi pasportyzatsii zemel silskohospodarskoho pryznachennia : kerivnyi normatyvnyi dokument. 2-he vyd., dopov. Kyiv, 2019. 108 s. 3. Klymenko M. O., Klymenko O. M., Dolzhenchuk V. I., Onyshchuk N. V. Otsinka ahroekolohichnoho stanu ornykh zemel lisostepovoi chastyny Rivnenskoï oblasti. *Visnyk NUVHP. Silskohospodarski nauky*. Rivne : NUVHP, 2019. Vyp. 2(86). S. 3–15. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs220191>. 4. Klymenko M. O., Varzhel O. V., Rabeshko Ya. I. Otsinka ahroekolohichnoho stanu ornykh zemel baseinu richky Ustia. *Visnyk NUVHP. Silskohospodarski nauky* : zb. nauk. prats. Rivne : NUVHP, 2025. Vyp. 1(109). S. 55–68. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs120255>. 5. Baliuk S. A., Medvediev V. V., Vorotyntseva L. I.,

Shymel V. V. Suchasni problemy dehradatsii gruntiv i zakhody shchodo dosiahnennia neitralnoho rivnia. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2017. № 8. S. 5–11. URL: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201708-01>. **6.** Yatsuk I. P., Mokliachuk L. I., Lishchuk A. M., Romanova S. A. Innovatsiyni rozvytok silskoho gospodarstva za vykorystanniam indyikatoriv «zelenoho zrostannia». *Ahroekolohichniy zhurnal*. 2019. № 2. S. 6–16. URL: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2019.174011>. **7.** Medvediev V. V., Bulyhin S. Yu., Baliuk S. A. ta in. Stan rodiuchosti gruntiv Ukrainy ta prohnoz yoho zmin za umov suchasnoho zemlerobstva : monohrafiia / za red. Medvedieva V. V., Lisovoho M. V. Kharkiv : Shtrikh, 2001. 100 s. **8.** Klymenko M. O., Pryshchepa A. M., Varzhel O. V. Obgruntuvannia tekhnolohii zabezpechennia ekolohichnoi bezpeky ahrosfery Rivnenskoï oblasti : monohrafiia. Rivne : NUVHP, 2024. 154 s. **9.** Horodnii M. M. Ahrokhimiia : pidruchnyk. 4-te vyd., pererobl., i dopov. Kyiv : Aristei, 2008. 936 s. **10.** Hunchak M. V., Pasichniak V. I., Hryshchenko O. M., Kolesnyk T. M. Stan rodiuchosti gruntiv Lisostepovoï zony Chernivetskoï oblasti. *Visnyk NUVHP. Silskohospodarski nauky* : zb. nauk. prats. Rivne : NUVHP, 2025. Vyp. 2 (110). S. 80–93. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs220256> **11.** Moskalov Ye. P. Kompleksna otsinka ahroekolohichnoho stanu ornykh zemel Chernivetskoï oblasti ta obstezhennia zakhodiv, shchodo yoho polipshennia : avtoref. dys. ... kand. s.-h. nauk. Kyiv, 2004. 20 s. **12.** Rakoid O. O. Metodychni pidkhody do kompleksnoi otsinky ahroekolohichnoho stanu silskohospodarskykh zemel na rehionalnomu rivni. *Visnyk Stepu* : naukovyi zbirnyk. Kirovohrad : Tsentralno-Ukrainske vydavnytstvo, 2005. S. 107–108.

Klymenko M. O. [1; ORCID ID: 0000-0003-0892-0648],
Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Rabeshko Y. I. [1; ORCID ID: 0009-0005-7262-9603],
Post-graduate Student

¹National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

ASSESSMENT OF SOIL FERTILITY IN THE USTIA RIVER BASIN ACCORDING TO THE COMPLEX AGROCHEMICAL SCORE

The article analyzes the main fertility indicators of light gray, dark gray, podzolized forest soils and podzolized chernozem soils of the Ustia River basin for the period 2011–2022.

The soil cover of the basin is predominantly formed on loess-like loams and loess. Light gray podzolized forest soils of the Zdolbuniv district (Orestiv village) are characterized by a humus content of 2.4%, an average content of easily hydrolyzable nitrogen of 115 mg/kg, a high content of available phosphorus of 180 mg/kg, a low content of exchangeable potassium of 65 mg/kg, and a pH value of 5.8. Dark gray podzolized forest soils of the Rivne district (Zaborol, Rysvyanka, Kotiv villages) are characterized by a humus content of 2.3%, 2.2%, and 2.1%; easily hydrolyzable nitrogen content of 89, 89, and 106 mg/kg; a high content of available phosphorus of 167, 236, and 203 mg/kg; and a pH value ranging from 5.9 to 6.3.

Podzolized slightly degraded chernozem soils of the Ostroh district

(Ozhenyn village) are characterized by a humus content of 3%, an easily hydrolyzable nitrogen content of 137 mg/kg, a very high content of available phosphorus of 356 mg/kg, an available potassium content of 142 mg/kg, and a pH value of 6.6.

In terms of microelement composition, the studied soils are assessed as follows: high content of boron and cobalt; medium content of manganese and sulfur; and low content of copper and zinc.

According to the complex agrochemical score for 2011–2015, light gray forest soils were evaluated at 56 points, dark gray forest soils at 50, 53, and 62 points, and chernozem soils at 67 points. For 2021–2022, light gray forest soils improved their fertility and were again evaluated at 56 points. Dark gray forest soils in Zaborol and Rysvyanka increased their fertility levels to 52 and 55 points, while in Kotiv a decrease to 58 points was recorded. Chernozem soils in Ozhenyn also showed a reduction in fertility to 66 points.

To maintain the high quality of podzolized chernozems in the long term, as well as to raise the medium quality to high in light gray and dark gray podzolized soils of the Ustia River basin, it is recommended to apply calculated rates of nitrogen and potassium fertilizers. This will eliminate first- and second-level nutrient deficiencies and increase the content of these elements in the studied soils to high levels. To increase the copper and zinc content in the soils, the use of nitrogen fertilizers such as ammonium sulfate (containing up to 500 mg/kg of zinc and 0.3–1.0 mg/kg of copper) and 40% potassium salt (containing 1–3 mg/kg of zinc and up to 10 mg/kg of copper) is recommended.

Keywords: fertility indicators; macroelements; microelements; quality categories; complex agrochemical score; imbalance; minimum; maximum.

Отримано / Received: 23.02.2026

Прийнято до друку / Accepted: 05.03.2026

Опубліковано / Published: 27.03.2026



© 2026 [Klymenko M. O., Rabeshko Y. I.]. Licensee {NUWEE}. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org)

УДК 574.4:504.455

<https://doi.org/10.31713/vs120269>

Ковальчук С. В. [1; ORCID ID: 0009-0006-2546-8349],

к.с.-г.н., голова циклової комісії,

Калько А. Д. [1; ORCID ID: 0000-0003-4526-5929],

д.геогр.н., професор

Рибак В. В. [2; ORCID ID: 0000-0003-3430-2704],

к.с.-г.н., доцент

¹ВСП «Рівненський технічний фаховий коледж НУВГП», м. Рівне

²Хмельницький національний університет, м. Хмельницький

ВПЛИВ ПОВЕРХНЕВОГО СТОКУ ТА КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ НА ФОРМУВАННЯ ЕКОСИСТЕМИ ШЕЛЬФОВОЇ ЗОНИ МОРЯ

Сьогодення показує нам, що водні екосистеми Атлантичного океану перебувають у кризовому стані через недостатньо ефективне очищення стічних і зливових вод з урбанізованих територій та агротехнічних систем. Біоценози водного середовища Атлантики скоротилися удвічі. Виникла реальна загроза Балтійському морю, яке звичайно є меншим за Атлантичний океан у 15 тисяч разів. Наразі Балтика працює, як відстійник, куди скидають свої забруднені води прибережні країни. Водночас Балтика дає біля 12% світового вилову риби. Є такі види, як салака, шпроти, тріска, а також лосось і вугор, що мігрують у річки України з далекого Саргасового моря.

Процеси, що супроводжують екологічні зміни у шельфовій зоні Балтійського моря прямо залежать від інтенсивності водообміну температури та кількості забруднених вод. Одним із об'єктів впливу на формування екологічної ситуації Балтійського моря є річка Західний Буг, яка протікає через території таких країн, як Польща, Україна та Білорусь і впадає до річки Вісла. Водоприймач Західного Бугу – Балтійське море має ознаки застійної водойми. Дно тут має чимало котловин, що розділені греблями. По вертикалі формується стратифікація за солоністю води, вмістом розчиненого кисню та наявністю сірководню, токсичного для ікри і молодих риб. Проблема визначення токсичності поверхневих вод залишається актуальною і дискусійною, оскільки залежить від багатьох чинників чисельності і концентрації домішок, їх токсичності та синергізму, жорсткості води та її мінералізації, газового режиму, радіусу потенціалу.

На сьогодні, згідно із прийнятими нормативними визначеннями якості води, при оцінці стану іхтіоекологічної ситуації приймається рівень перевищення гранично допустимих концентрацій одного із переважаючих токсичних додатків (йонів важких металів, фенолів, отрутохімікатів, СПАР, нафтопродуктів тощо), за якими визначається індекс токсичності. В роботі пропонується методика оцінки токсичності водного середовища за

відношенням перевищень суми токсичних домішок до регламентованих величин. Коефіцієнт закислення можна вирахувати за відношенням суми хлоридних і сульфатних йонів, визначених при гідрохімічних зйомках до їх реперних характеристик. За узгодженими даними у створі села Литовеж у водах річки Західного Бугу спостерігаємо значні перевищення за токсичністю по десятих позиціях. У чотири та більше разів.

Ключові слова: екосистема; Атлантичний океан; Балтійське море; Західний Буг; іхтіофауна; токсичні домішки; антропогенне навантаження; зміни клімату; біотропи; забруднення; стічні води; самоочищення.

Постановка проблеми. У 1973 р. у Гданську було прийнято Міжнародну конвенцію про боротьбу із забрудненням Балтійського моря, що стало важливим кроком у збереженні екосистеми з низькою самоочисною здатністю, слабким зв'язком зі Світовим океаном, незначним водообміном і надмірним антропогенним навантаженням.

Сім країн з високорозвиненою промисловістю, транспортом, агропромисловою і комунальною сферами розташовані на берегах моря. У портових містах мешкає понад вісім мільйонів осіб, а однією із основних складових навантаження на шельфову зону Балтійського моря є надзвичайно густа річкова мережа – більше двохсот річкових русел, що несуть із поверхневим стоком недоочищені води урбанізованих територій.

Серйозний вплив на екосистему шельфу Балтійського моря створює глобальне потепління, наслідком якого є зміна річкового стоку через зростання кількості опадів і паводків, що підсилює надходження прісної води та поживних речовин, що призводить до опріснення, посилення стратифікації, евтрофікації та дефіциту кисню, змінюючи структуру й стійкість морських біоценозів.

За даними наукових досліджень, біоценози водного середовища Атлантичного океану скоротилися удвічі. Виникає питання: чи є загроза Балтійському морю, яке менше Атлантики у 15 тисяч разів. Фактично, море працює, як відстійник, куди скидають свої забруднені води прибережні країни.

Необхідно врахувати, що Балтика дає біля 12% світового вилову риби. Є такі види, як салака, шпроти, тріска, а також лосось і вугор, що мігрують у річки України з далекого Саргасового моря.

Антропогенне забруднення поділяють на дві групи відповідно до транспортування і маршруту: викиди зі стічних вод очисних споруд,

фабрик або муніципальної каналізації та із сільськогосподарського ландшафту з атмосферними опадами (25% азотного забруднення).

Як відомо, стан води шельфової зони Балтійського моря залежить від багатьох факторів, таких як зміна клімату, скидання стічних вод, забруднення промисловими скидами підприємств, несанкціоновані стоки із фермерських господарств, що потрапляють до моря річковою мережею. Останніми роками Балтійське море перебуває під великим антропогенним тиском, внаслідок якого, спостерігається накопичення на його дні значної кількості шкідливих речовин і токсичних речовин, що загрожують екологічній безпеці регіону. Це може призвести до зниження біопродуктивності кормової бази, знищення основних промислових видів риб, зміни якості води тощо. Процеси, що супроводжують екологічні зміни в шельфовій зоні Балтійського моря прямо залежать від інтенсивності водообміну та кількості забруднених вод. Одним із об'єктів впливу на формування екологічної ситуації моря є річка Західний Буг, яка протікає через території Польщі, України та Білорусі і впадає до річки Вісла.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з останніми оцінками, води Балтійського моря містять підвищені рівні азоту та фосфатів, що призводить до їх евтрофікації (збільшення кількості водоростей та інших рослинних організмів) і часткового кисневого дефіциту (гіпоксія).

Проблемою неконтрольованого антропогенного навантаження на річкові системи басейну Балтійського моря, а також на морську акваторію в цілому присвячено чимало публікацій як вітчизняних, так і зарубіжних науковців, а саме: Гриба Й. В. [1; 2], Клименка М. О., Сондака В. В. [2], Забокрицької М. Р. [3; 7], Хільчевського В. К. [7], Монченко А. П. [7], Бєдункової О. О., Edyta Kiedrzyńska [4], Bricker S. [5], Conley D. [6; 8], Howarth R. [8], Ducrottoy J. [10].

Мета і завдання досліджень – визначити екологічне значення та фактори утворення поверхневого стоку як чинника формування екосистеми шельфової зони моря на прикладі Балтики.

Виклад основного матеріалу досліджень. На сьогодні евтрофікація вважається найбільшою екологічною проблемою для поверхневих вод і для всього Балтійського моря, що посилюється зростанням кількості опадів в результаті глобального потепління. Висока концентрація забруднюючих речовин стимулює і призводить до погіршення якості води, що відображається на екстенсивному цвітінню потенційно токсичних синьо-зелених водоростей (ціанобактерій), які є загрозою іхтіофауни шельфової зони Балтійського моря [7–10].

Водоприймач Західного Бугу – Балтійське море – має ознаки застійної водойми. Дно тут має чимало котловин, що розділені греблями. По вертикалі формується стратифікація за солоністю води, вмістом розчиненого кисню та наявністю сірководню, токсичного для ікри і молодих риб. Дрифт органічних домішок із річкової мережі у літні періоди веде до їх накопичення, витрат розчиненого кисню на окислення та концентрації сірководню.

Тобто сума навіть незначних домішок у воді є причиною забруднення моря і кризи у відстійниках риб, хоча основа база – це відтворення гирлових ділянок річок, що впадають у море. ЮНЕСКО так визначило термін «забруднення»: «пряме або пасивне внесення речовин або енергії до морського середовища, включаючи прибережні або гирлові райони, які призводять до шкідливих наслідків для живих організмів і здоров'я людини, не допускаючи розвитку активної людської життєдіяльності, в тому числі рибальства, спричиняючи зміни якості морської води і завдаючи збитку господарству».

Проблема визначення токсичності поверхневих вод залишається актуальною і дискусійною, оскільки залежить від багатьох чинників чисельності і концентрації домішок, їх токсичності та синергізму, жорсткості води та її мінералізації, газового режиму, радіусу потенціалу.

На сьогодні, згідно із прийнятими нормативними визначеннями якості води, при оцінці стану іхтіоекологічної ситуації приймається рівень перевищення гранично допустимих концентрацій одного з переважаючих токсичних додатків (йонів важких металів, фенолів, отрутохімкатів, СПАР, нафтопродуктів тощо), за якими визначається індекс токсичності $I_{ток}$.

На нашу думку, з досвіду практичної гідрохімії, цей підхід хоч і є практичним, однак не дуже вдалим, оскільки рівень формування токсичної ситуації визначає сумарний вплив домішок та чинників, при цьому не дається оцінка процесу самоочищення біотою води, самоочищення органічних домішок, інтенсивності біосинтезу фіто- та зоопланктону.

Для оцінки токсичності водного середовища можна використати формулу:

$$I_e = \left[\left(\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{i0}} \right) : n \right] \alpha_1 \alpha_2, \quad (1)$$

де $\sum_{n+1}^n \frac{C_i}{C_{i0}}$ – відношення перевищень суми токсичних домішок до регламентованих величин;

n – чисельність токсичних домішок;

α_1 – коефіцієнт самоочищення водного середовища від органічних домішок за відношенням маси органічного вуглецю до величини BCK_5 (масу органічного вуглецю можна прийняти за перманганатну окисленість);

α_2 – вплив величини мінералізації на токсичність середовища (очевидно за добутком розчинності солей).

В подальшому необхідно звернути увагу на процес закислення водного середовища. При оцінці результатів досліджень сольового складу мінералізації води давалася оцінка загальної маси, при цьому не зверталася увага на процеси закислення. Коефіцієнт закислення можна вирахувати за відношенням суми хлоридних і сульфатних йонів, визначених при гідрохімічних зйомках до їх реперних характеристик (за Г. Д. Коненко). Таким чином:

$$\alpha_1 = \frac{(Cl^- + SO_4^{2-})_{\text{факт}}}{(Cl^- + SO_4^{2-})_{\text{реп}}} \quad (2)$$

Для прикладу приведемо оцінку екологічної ситуації у водному середовищі річки Західний Буг у створі нижче м. Сокаль за усередненими даними межені (власні дані) за вмістом токсичних домішок (табл. 1).

Коефіцієнт самоочищення за відношеннями маси органічного вуглецю до величини біохімічного споживання кисню за 5 діб: $28,0 / 4,0 = 7,0$. Рівень токсичності у створі спостережень буде складати: $I_c = 13 \times 7 = 91$, тобто стан водного середовища за п'ятим класом якості, води брудні. Токсичні домішки впливають на стан самоочищення за величиною BCK_5 , тому її значення можна прийняти за створом, що знаходиться вище місця забруднення.

Таблиця 1
Токсичність води річки Західний Буг за домішками у створі нижче м. Сокаль, мкг/дм³

№ з/п	Види домішок	Регламентовані величини	Фактичні значення	Перевищення ГДК
1	Ртуть	0,02–0,05	-	-
2	Калій	0,1	-	-
3	Мідь	1,0	54,0	54,0
4	Цинк	10,0–15,0	8,0	2,0

продовження табл. 1

5	Свинець	2,0–5,0	11,0	2,0
6	Хром заг.	2,0–3,0	4,0	1,3
7	Нікель	1,0–5,0	2,0	0,5
8	Миш'як	1,0–3,0	-	-
9	Залізо заг.	50,0–70,0	100,0	2,0
10	Марганець	10,0–25,0	50,0	2,0
11	Фториди	100,0–125,0	20,0	-
12	Ціаніди	1,0–5,0	-	-
13	Нафтопродукти	10,0–25,0	20,0	-
14	СПАР	<10,0	20,0	2,0
Сумарне перевищення за іонами металів				65,0

 Примітка: Індекс токсичності за іонами переважаючих домішок склав $65 / 5 = 13$.

За даними досліджень польських учених, у створі с. Литовеж спостерігаємо перевищення за вмістом іонів міді, цинку, хрому, заліза, нафтопродуктів, СПАР (табл. 2).

За узгодженими даними у створі с. Литовеж у водах річки Західного Бугу спостерігаємо значні перевищення за токсичністю по десятиох позиціях, що дає усереднені значення:

$$I_e = 163,0 / 10 = 16,3.$$

Таблиця 2

Токсичність води річки Західного Бугу за домішками у створі с. Литовеж, мгк/дм³

№ з/п	Види домішок	Регламентовані значення	Фактичне значення	Коефіцієнт перевищення значень
1	Нікель	1,0	40,0	40,0
2	Свинець	2,0–5,0	30,0	6,0
3	Калій	0,1	5,0	50,0
4	Мідь	1,0	18,0	18,0
5	Миш'як	1,0–3,0	Не визн.	0
6	Цинк	10,0–15,0	487,0	32,0
7	Ртуть	0,02–0,05	0,2	4,4
8	Хром	2,0–3,0	10,0	3,3
9	Алюміній	10,0	Не визн.	0
10	Марганець	1,0–3,0	0,17	0
11	Залізо заг.	50,0–70,0	522,0	10,0
12	Феноли леткі	1,0	3,0	3,0

продовження табл. 1

13	СПАР	10,0	209,0	21,0
14	Нафтопродукти	10–25	60,0	2,0
15	Хлориди, мг/дм ³	50,0	116,0	2,3
16	Сульфати	10,0	128,0	13,0
17	Органічна речовина, Сорг.	7,0	30,0	4,3
18	БСК ₅ , гО ₂ / дм ³	2,0	18,0	9,0
Прийняте сумарне перевищення за іонами металів				163,0

Примітка: З польського боку за еталон прийняті дані другого класу якості вод.

Коефіцієнт самоочищення матиме величину (табл. 3):

$$D = C_{орг} / БСК_5 = 30 : 18 = 1,6.$$

Коефіцієнт самоочищення водного об'єкта, розрахований як відношення концентрації органічних речовин до показника БСК₅, становить $D = 1,6$, що свідчить про обмежену здатність води до природного самоочищення та вказує на наявність помірного органічного навантаження.

Таблиця 3

Питома вага компонентів річкового стоку за внесенням домішок на території України

Складові елементи річкового стоку	Значення фактичних коефіцієнтів						Усереднені значення, α
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	
Стічні води	0,81	0,54	0,47	0,50	0,07	0,34	0,466
Поверхнево-схилловий стік з непорушених територій	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,10	0,028
Поверхнево-схилловий стік з с/г угідь	0,12	0,44	0,48	0,22	0,17	0,38	0,300
Зливовий стік з урбанізованих територій	0,07	0,02	0,04	0,24	0,75	0,19	0,216
Всього	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Примітка: α_1 – внесення азоту амонійного; α_2 – внесення азоту загального; α_3 – внесення фосфору мінерального; α_4 – внесення органічного вуглецю; α_5 – внесення завислих речовин; α_6 – внесення токсичних домішок.

Висновки. Таким чином, токсичність води ріки Західний Буг у створі с. Литовеж складатиме:

$$Ic = 16,3 \times 1,6 = 22,1.$$

За переважаючими видами токсичних домішок (коефіцієнт α більше 10,0). Екологічний індекс токсичності складатиме:

$$Ie = 28,3 \times 1,6 = 45,0.$$

1. Гриб В. Й., Ковальчук С. В., Калько А. Д. До питання визначення токсичності поверхневих вод. *Екологія. Людина. Суспільство* : матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної конференції, 5 червня 2024 р. Київ : КПІ імені Ігоря Сікорського, 2024. С. 118–121. DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2024.303421>.
2. Гриб Й. В., Сондак В. В. Антропогенна трансформація і шляхи омолодження озер Волині. *Українське Полісся: вчора, сьогодні, завтра* : зб. наук. праць. Луцьк : Надстир'я, 1998. С. 172–174.
3. Забокрицька М. Р. Міждержавне співробітництво з моніторингу та управління водними ресурсами р. Західний Буг. *Гідрологія, гідрохімія і гідро екологія*. 2011. № 2. С. 142–147.
4. Edyta Kiedrzyńska, Marcin Kiedrzyński, Magdalena Urbaniak, Artur Magnuszewski. Point sources of nutrient pollution in the lowland river catchment in the context of the Baltic Sea eutrophication. *Ecological Engineering*. 2014. Vol. 70. P. 337–348.
5. Bricker S., Longstaff B., Dennison W., Jones, A., Boicourt K., Wicks C. Effects of nutrient enrichment in the nation's estuaries: a decade of change. *National Centers for Coastal Ocean Science. NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis Series*. Silver Spring, MD. 2007. No. 26.
6. Vahtera E., Conley D. J., Gustafsson B. G. Internal ecosystem feedbacks enhance nitrogen-fixing cyanobacteria blooms and complicate management in the Baltic Sea. *Ambio*. 2007. Vol. 36 (2–3). P. 186–194.
7. Забокрицька М. Р., Хільчевський В. К., Манченко А. П. Гідроекологічний стан басейну річки Західного Бугу на території України : монографія. К. : Ніка Центр, 2006. 184 с.
8. Conley D. J., Humborg C., Rahm L., Savchuk O. P., Wulff F. Hypoxia in the Baltic Sea and basin-scale changes in phosphorus biogeochemistry. *Environ. Sci. Technol.* 2002. Vol. 36 (24). P. 5315–5320.
9. Diaz R. J., Rosenberg R. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*. 2008. Vol. 321. P. 926.
10. Ducrotot J.-P., Elliott M. The science and management of the North Sea and the Baltic Sea: natural history, present threats and future challenges. *Mar. Pollut. Bull.* 2008. Vol. 57. P. 8–21.

REFERENCES:

1. Hryb V. Y., Kovalchuk S. V., Kalko A. D. Do pytan'nia vyznachennia toksychnosti poverkhnevyykh vod. *Ekolohiia. Liudyna. Suspilstvo* : materialy XXIV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, 5 chervnia 2024 r. Kyiv : KPI imeni Ihoria Sikorskoho, 2024. S. 118–121. DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2024.303421>.
2. Hryb Y. V., Sondak V. V. Antropohenna transformatsiia i shliakhy omolodzhennia ozer Volyni. *Ukrainske Polissia: vchora, sohodni, zavtra* : zb. nauk. prats. Lutsk : Nadstyria, 1998. S. 172–174.
3. Zabokrytska M. R. Mizhderzhavne spivrobitnytstvo z monitorynhu ta upravlinnia vodnymy resursamy r. Zakhidnyi Buh. *Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidro ekolohiia*. 2011. № 2. S. 142–147.
4. Edyta Kiedrzyńska, Marcin Kiedrzyński, Magdalena Urbaniak, Artur Magnuszewski. Point sources of nutrient pollution in the lowland river catchment in the context of the Baltic Sea eutrophication. *Ecological Engineering*. 2014. Vol. 70. P. 337–348.
5. Bricker S., Longstaff B., Dennison W., Jones, A., Boicourt K., Wicks C.

Effects of nutrient enrichment in the nation's estuaries: a decade of change. *National Centers for Coastal Ocean Science. NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis Series*. Silver Spring, MD. 2007. No. 26. **6.** Vahtera E., Conley D. J., Gustafsson B. G. Internal ecosystem feedbacks enhance nitrogen-fixing cyanobacteria blooms and complicate management in the Baltic Sea. *Ambio*. 2007. Vol. 36 (2–3). P. 186–194. **7.** Zabokrytska M. R., Khilchevskiy V. K., Manchenko A. P. Hidroekolohichniy stan baseinu richky Zakhidnoho Buhu na terytorii Ukrainy : monohrafiia. K. : Nika Tsent, 2006. 184 s. **8.** Conley D. J., Humborg C., Rahm L., Savchuk O. P., Wulff F. Hypoxia in the Baltic Sea and basin-scale changes in phosphorus biogeochemistry. *Environ. Sci. Technol.* 2002. Vol. 36 (24). P. 5315–5320. **9.** Diaz R. J., Rosenberg R. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*. 2008. Vol. 321. P. 926. **10.** Ducrotoy J.-P., Elliott M. The science and management of the North Sea and the Baltic Sea: natural history, present threats and future challenges. *Mar. Pollut. Bull.* 2008. Vol. 57. P. 8–21.

Kovalchuk S. V. [1; ORCID ID: 0009-0006-2546-8349],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.),
Head of the Cycle Commission,

Kalko A. D. [1; ORCID ID: 0000-0003-4526-5929],

Doctor of Geographical Sciences, Professor

Rybak V. V. [2; ORCID ID: 0009-0003-3430-2704],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor

¹SSU «Rivne Technical Professional College of NUWEE», Rivne

²Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi

INFLUENCE OF SURFACE RUN AND CLIMATIC FACTORS ON THE FORMATION OF THE ECOSYSTEM OF THE SEA SHELF ZONE

Today shows us that the aquatic ecosystems of the Atlantic Ocean are in a state of crisis due to insufficiently effective treatment of wastewater and stormwater from urban areas and agricultural systems. The biocenoses of the Atlantic aquatic environment have decreased by half. A real threat has arisen to the Baltic Sea, which is usually 15 thousand times smaller than the Atlantic Ocean. Currently, the Baltic Sea works as a settling tank, where coastal countries dump their polluted waters. In fact, the Baltic Sea provides about 12% of the world's fish catch. There are such species as herring, sprat, cod, as well as salmon and eel, which migrate to the rivers of Ukraine from the distant Sargasso Sea.

The processes that accompany ecological changes in the shelf zone of the Baltic Sea directly depend on the intensity of water exchange, temperature and the amount of polluted water. One of the objects of influence on the formation of the ecological situation of the Baltic Sea is the Western Bug River, which flows through the territories of such countries as Poland, Ukraine and Belarus and flows into the Vistula River. The water intake of the Western Bug – the Baltic Sea has the characteristics of a stagnant reservoir. The bottom

here has a number of basins separated by dams. Vertical stratification is formed by water salinity, dissolved oxygen content and the presence of hydrogen sulfide, toxic to caviar and young fish. The problem of determining the toxicity of surface waters remains relevant and debatable, since it depends on many factors: the number and concentration of impurities, their toxicity and synergism, water hardness and its mineralization, gas regime, potential radius.

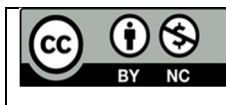
Today, according to the accepted normative definitions of water quality, when assessing the state of the ichthyological situation, the level of exceeding the maximum permissible concentrations of one of the predominant toxic additives (heavy metal ions, phenols, toxic chemicals, SPAR, petroleum products, etc.) is taken, by which the toxicity index is determined. The paper proposes a method for assessing the toxicity of the aquatic environment based on the ratio of excesses of the sum of toxic impurities to regulated values. It is necessary to pay attention to the process of acidification of the aquatic environment. When assessing the results of studies of the salt composition of water mineralization, an estimate of the total mass was given, while no attention was paid to the acidification processes. The acidification coefficient can be calculated by the ratio of the sum of chloride and sulfate ions determined during hydrochemical surveys to their reference characteristics. According to the agreed data, in the area of the village of Lytovezh in the waters of the Western Bug River, we observe significant excesses in toxicity in ten positions by four or more times, and the state of the aquatic environment can be characterized by the fifth quality class, that is, the water is dirty.

Keywords: ecosystem; Atlantic Ocean; Baltic Sea; Western Bug; ichthyofauna; toxic impurities; anthropogenic load; climate change biotopes; pollution; wastewater; self-purification.

Отримано / Received: 25.02.2026

Прийнято до друку / Accepted: 13.03.2026

Опубліковано / Published: 27.03.2026



© 2026 [Kovalchuk S. V., Kalko A. D., Rybak V. V.]. Licensee {NUWEE}. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org)

Ліхо О. А. [1; ORCID ID: 0000-0001-5991-5035],

к.с.-г.н., професор,

Сафонов Р. В. [2],

Головний державний санітарний лікар у Рівненській області,

Гакало О. І. [3; ORCID ID: 0000-0001-8892-9786],

к.с.-г.н., завідувач відділення підготовки

фахівців вищої та фахової передвищої освіти,

Вознюк Н. М. [1; ORCID ID: 0000-0001-9947-4027],

к.с.-г.н., професор,

Скиба В. П. [4; ORCID ID: 0000-0003-2233-9438],

к.с.-г.н., доцент,

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

²Рівненський обласний ЦКПХ, м. Рівне

³ВСП «Рівненський технічний фаховий коледж НУВГП», м. Рівне

⁴Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
м. Запоріжжя

ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ НІТРАТНОГО ТА МІКРОБІОЛОГІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ДЖЕРЕЛ НЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Дослідження спрямоване на наукове обґрунтування методичних підходів до прогнозування ризиків нітратного та мікробіологічного забруднення джерел нецентралізованого водопостачання з урахуванням умов формування якості води. З цією метою проведено комплексне вивчення проблеми нітратного і мікробіологічного забруднення індивідуальних та громадських водозабірних споруд, яка протягом багатьох років залишається однією з найгостріших для сільських територій у країнах із розвиненим аграрним сектором. Стійкий характер і багатофакторність зазначених видів забруднення визначаються сукупним впливом природних гідрогеологічних умов, інтенсивності господарського використання територій, технічного стану інженерної інфраструктури та ефективності екологічного контролю. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває розроблення надійного інструментарію, що дає змогу здійснювати оцінку та прогноз ризику нітратного і мікробіологічного забруднення для кожного окремого джерела водопостачання в межах сільських населених пунктів. Для вирішення поставленого завдання запропоновано використання модифікованої матриці Леопольда як інструменту прогнозування ризиків з урахуванням умов формування якості підземних вод. Для нецентралізованих систем водозабезпечення характерними є ризики, зумовлені недотриманням санітарно-гігієнічних

вимог під час вибору місця розташування та облаштування як громадських, так і приватних колодязів. Типовими порушеннями є розміщення водозаборів у безпосередній близькості до потенційних джерел забруднення – вигрібних ям, надвірних туалетів, каналізаційних мереж, тваринницьких об'єктів, покинутих шахтних колодязів, а також відсутність належно сформованих санітарно-захисних зон навколо водозабірних споруд. Результати прогновної оцінки дають можливість ідентифікувати ключові чинники, що зумовлюють формування та поширення нітратного і мікробіологічного забруднення для кожного досліджуваного об'єкта. На основі адаптованої матриці Леопольда розроблено уніфікований шаблон визначення категорії об'єкта залежно від встановленого рівня ризику. Визначена категорія обумовлює режим моніторингових спостережень та впровадження комплексу заходів, спрямованих на мінімізацію ризиків забруднення підземних водоносних горизонтів нітратами та мікроорганізмами.

Ключові слова: нецентралізовані джерела водопостачання; нітрати; мікробіологічне забруднення; прогнозування; ризики; матриця Леопольда.

Вступ. Проблема нітратного та мікробіологічного забруднення джерел нецентралізованого водопостачання впродовж десятиліть залишається однією з найбільш актуальних для сільських територій в багатьох країнах світу з інтенсивним аграрним виробництвом. Нецентралізовані джерела є основним джерелом питної води для значної частини населення, проте саме вони характеризуються найвищою вразливістю до антропогенного забруднення.

Високий рівень небезпеки такого забруднення підтверджується тим, що в країнах Європейського Союзу вже протягом кількох десятиліть заборонено використання ґрунтових водоносних горизонтів без відповідної очистки та дезінфекції.

Про значущість цієї проблеми свідчить також той факт, що нітрати і мікробіологічне забруднення входять до переліку речовин, які контролюються в межах Глобальної системи моніторингу навколишнього середовища (GEMS).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема якості питної води з джерел нецентралізованого водопостачання набула в Україні та багатьох країнах світу особливої актуальності у зв'язку зі стійким поширенням нітратного та мікробіологічного забруднення підземних вод. У сільській місцевості та на територіях із низьким рівнем охоплення централізованими системами водопостачання колодязі, каптажі джерел і свердловини малої глибини залишаються основним

джерелом питної води для населення. Водночас саме ці об'єкти є найбільш уразливими до впливу природних і антропогенних чинників, що формують хімічне та бактеріологічне навантаження на водоносні горизонти.

Широкомасштабні дослідження якості питної води у сільських населених пунктах 15 областей України показали, що перевищення ГДК за вмістом нітратів у підземних водах має системний характер і спостерігається у більшості досліджених регіонів [1]. Встановлено, що характер господарської діяльності населення на досліджуваних територіях не є єдиним визначальним фактором, що обумовлює формування і розповсюдження забруднення. Ключову роль відіграють також гідрогеологічні умови, зокрема глибина залягання водоносного горизонту, який використовується населенням як джерело питного водопостачання; санітарно-технічний стан шахтних і трубчастих колодязів; наявність вигрібних ям, тваринницьких комплексів, відсутність санітарно-захисних зон [1].

Результати дослідження якості води в джерелах нецентралізованого водопостачання на території сільських населених пунктів Житомирської області, показали, що якість води за вмістом нітратів не відповідала нормативним вимогам у 60–70% проб. Автори підкреслюють хронічний характер забруднення, відсутність тенденції до покращення ситуації та необхідність систематичного моніторингу якості питної води у джерелах нецентралізованого водопостачання, особливо у сільських населених пунктах [2].

Узагальнення результатів наукових досліджень щодо особливостей забруднення нітратами джерел нецентралізованого водопостачання дозволило дійти висновку, що найбільш уразливими до нітратного забруднення є приватні колодязі та індивідуальні свердловини через обмежений контроль і відсутність системного моніторингу [3].

Проблема забруднення питної води нітратами зберігає свою актуальність в багатьох країнах світу. Зокрема, у роботі Ward M. H. et al., 2018 зазначається, що тривале споживання питної води, навіть коли концентрація нітратів не перевищує чинні нормативи, може бути асоційоване з підвищеними ризиками для здоров'я. Аналіз результатів досліджень дозволив виявити зв'язок між вживанням питної води, забрудненої нітратами, та несприятливими наслідками для здоров'я. Таким чином було встановлено, що, окрім метгемоглобінемії, існує також ризик розвитку колоректального раку, патології щитовидної залози та дефектів нервової трубки [4].

Забруднення ґрунтових вод нітратами вважається однією з найпоширеніших екологічних проблем в умовах посушливого клімату північного Китаю. Зафіксовано перевищення допустимого вмісту нітратів, відповідно до китайського національного стандарту в 5,48 рази, що свідчить про необхідність впровадження систематичного контролю забруднення нітратами ґрунтових вод в цьому регіоні. Встановлено, що основним джерелом надходження нітратів у ґрунтові води є надмірне використання азотних добрив у сільському господарстві. Гірничодобувна діяльність у цьому районі підсилює проблему, створюючи сприятливі умови для поширення забруднення. Враховуючи ці обставини, автори дослідження не рекомендують використовувати ґрунтові води в цьому районі для питних потреб без попередньої водопідготовки [5].

Ґрунтові води є важливим джерелом нецентралізованого питного водопостачання й у Литві. В процесі дослідження якості води виконувалась оцінка мікробного та хімічного забруднення джерел в різних регіонах країни. Визначалися такі хімічні показники, як рН, нітрити, нітрати, хлориди, сульфати та перманганатний індекс. Мікробіологічний аналіз був спрямований на виявлення *Escherichia coli*, *Enterococcus spp.* та коліформних бактерій. Проведені дослідження дозволили виявити суттєві відмінності між карстовими джерелами та джерелами, що живляться ґрунтовими водами. Карстові джерела були більш чутливими до коливань забруднення, тоді як для джерел, що живляться підземними водами, була притаманна більша стабільність якості води, але при цьому важливу роль відігравали поверхневі джерела забруднення. Найвище мікробне забруднення було зафіксовано восени та взимку, ця тенденція збігалась при збільшенні кількості опадів. Тож, природні джерела, особливо в геологічно уразливих умовах, зазнають ризики мікробіологічного забруднення, що загрожує безпеці питного водопостачання у сільській місцевості [6].

Бактеріальне забруднення питної води у джерелах нецентралізованого водопостачання є також серйозною проблемою в сільських населених пунктах Китаю. Для дослідження рівня бактеріального забруднення питної води в сільській місцевості та виявлення можливих причин появи бактерій, зразки води відбирались з колодязів у десяти сільських районах поблизу Пекіну. Встановлено, що рівень бактеріального забруднення води значною

мірою визначається типом підземних вод, які використовуються для потреб питного водопостачання, глибиною свердловин, їхньою герметизацією та захищеністю водоносного горизонту. При цьому зазначається, що бактеріальне забруднення води було вищим у неглибоких колодязях, колодязях, які не були закриті, у свердловинах, які не мали корпусу, або гирло свердловини було нижче рівня поверхні землі. Мікробіологічне забруднення джерел нецентралізованого водопостачання значною мірою корелює з близькістю до сухих туалетів, тваринницьких господарств. Саме у таких джерелах питної води після дощів і сезонних паводків частіше фіксуються бактерії-індикатори забруднення води. Підкреслюється, що поверхнєве водопоглинання та відсутність бар'єрних природних фільтрів підсилюють ризик проникнення патогенів у ґрунтові води [7].

У США значна частина населення використовує воду з приватних свердловин, тому питання її якості є дуже актуальним. В зв'язку з цим, широкомасштабні дослідження з метою оцінки якості води у приватних свердловинах та встановлення можливих джерел її забруднення, були проведені у Меріленді (США). В чотирьох округах штату було відібрано та проаналізовано 118 зразків води на наявність мікробіологічних та хімічних забруднювачів. Загалом, якість води у 43,2% протестованих свердловин не відповідала федеральному стандарту якості питної води, що базується на санітарних нормах. В зв'язку з цим підкреслювалась необхідність проведення додаткових досліджень для оцінки факторів, які впливають на якість води у свердловинах, а також навчання домовласників щодо тестування води в свердловинах та їх обслуговування, оскільки це може бути важливим для збереження громадського здоров'я [8].

Аналіз літературних джерел за останні роки свідчить про те, що нітратне і мікробіологічне забруднення джерел нецентралізованого водопостачання має стійкий, поширений і багатофакторний характер. Попри наявність значної кількості регіональних і міжнародних досліджень, проблема залишається недостатньо вирішеною через фрагментарність моніторингу та обмежену реалізацію профілактичних заходів. Це зумовлює необхідність подальших комплексних досліджень і розробки ефективних систем управління якістю питної води у сільській місцевості, що робить наше дослідження досить актуальним.

Мета, завдання та методики проведення досліджень. Метою представлених досліджень була розробка: модифікованої матриці Леопольда для прогнозування ризиків нітратного і мікробіологічного забруднення джерел нецентралізованого водопостачання в

залежності від умов формування якості води; шаблону для встановлення категорії об'єкту з визначенням необхідного режиму спостережень за станом досліджуваного джерела з метою зменшення ризику нітратного і мікробіологічного забруднення.

Аналіз статистичних показників за 2016–2024 роки, що характеризують якість підземних вод. Систематизація, обробка, та аналіз матеріалів дослідження здійснювалися за допомогою описового, динамічного та порівняльного методів. У процесі роботи над модифікованою матрицею Леопольда використовувався метод експертних оцінок.

Виклад основного матеріалу дослідження. Стійкість і багатофакторність нітратного та мікробіологічного забруднення обумовлені поєднанням гідрогеологічних особливостей територій, інтенсивності господарської діяльності, стану інженерної інфраструктури та рівня екологічного контролю. Для України ця проблема має системний характер, оскільки значна частка сільського населення використовує саме індивідуальні джерела водопостачання, які не охоплені регулярним лабораторним моніторингом.

Санітарно-гігієнічний стан переважної більшості шахтних колодязів, яких в Україні налічується понад 2,1 млн одиниць, є вкрай незадовільним через широкомасштабне бактеріальне й хімічне забруднення підземних вод внаслідок господарської діяльності. Під час виконання паспортизації джерел нецентралізованого водопостачання, у воді більшості обстежених шахтних колодязів та багатьох свердловин виявлено такі небезпечні забруднювачі, як нітрити, нітрати, азот амонійний, вміст яких у 3–5, а в окремих випадках – у 40–50 разів, перевищували допустимі норми. Значно поширене також бактеріальне й органічне забруднення підземних вод, які є джерелом нецентралізованого водопостачання в сільській місцевості.

Отже, можна стверджувати, що забезпечення населення питною водою із нецентралізованих джерел водопостачання є найбільш проблемним в країні. Сільське населення споживає воду з колодязів та індивідуальних свердловин, які здебільшого знаходяться у незадовільному технічному та санітарному стані [9].

Нітратне забруднення підземних вод пов'язане переважно з інтенсивним застосуванням мінеральних добрив, нераціональним зберіганням гною, функціонуванням вигрібних ям і локальних систем каналізації. Висока мобільність нітрат-іонів у ґрунтовому профілі зумовлює їх швидку міграцію до водоносних горизонтів, що створює ризики хронічного впливу на організм людини, зокрема розвитку метгемоглобінемії у дітей та інших порушень здоров'я. Особливу небезпеку становить тривалий характер такого забруднення, оскільки процеси самоочищення підземних вод від нітратів є обмеженими.

Найвищі концентрації нітратів характерні для води шахтних колодязів із незначною глибиною залягання (1,5–6 м), що здійснюють водозабір із поверхневих водоносних горизонтів. Про підвищений нітратний фон у ґрунтових водах також свідчить наявність органічних сполук, які зазнали біохімічних перетворень від амонійної до нітратної форми. Експериментальні дані Рівненського обласного ЦКПХ, представлені у табл. 1, підтверджують загальні тенденції і свідчать про багаторазове перевищення ГДК нітратів у воді шахтних колодязів.

Таблиця 1

Перевищення ГДК за вмістом нітратів у воді шахтних колодязів по населених пунктах Рівненської області, 2024 р.
(за даними Рівненського обласного ЦКПХ)

№	Місце відбору проб	Визначення вмісту нітратів, мг/дм ³	Перевищення ГДК, разів [10]
Вараський район, Заріченська ТГ			
1.	с. Мутвиця	126,1-133,5	2,5-2,7
2.	с. Новорічиця	126,0	2,5
3.	с. Іванчиці	116,7	2,3
4.	с. Вичівка	128,8	2,6
5.	с. Неньковичі	110,1	2,2
6.	с. Перекалля	125,7	2,5
7.	с-ще Зарічне	124,4	2,4
8.	с. Борове	127,3	2,5
9.	с. Серники	128,2	2,6
Вараський район, Локницька ТГ			
10.	с. Локниця	125,8	2,5
11.	с. Кутин	131,6	2,6
12.	с. Кухче	126,1	2,5

продовження табл. 1

Дубенський район, Козинська ТГ			
13.	с. Зарічне	74,25–96,46	1,5–1,9
Дубенський район, Варковицька ТГ			
14.	с. Квітневе	139,32	2,8
15.	с. Озеряни	117,9	2,3
Сарненський район, Сарненська ТГ			
16.	с. Любиковичі	68,6–89,7	1,4–1,8
17.	с. Орлівка	105,0	2,1
18.	м. Сарни	64,7–98,6	1,3–1,97
Сарненський район, Степанська ТГ			
19.	с-ще Степань	66,4–142,6	1,3–2,85
20.	с. Кузьмівка	162,0	3,2
Сарненський район, Вирівська ТГ			
21.	с. Вири	63,8–106,3	1,3–2,1
22.	с. Ясногірка	53,2–83,3	1,06–1,7
Рівненський район, Корецька ТГ			
23.	с. Новий Корець	100,8–118,6	2,0–2,4
24.	с. Користь	91,5–135,6	1,8–2,7
Рівненський район, Костопільська ТГ			
25.	с. Пісків	81,6	1,6
26.	м. Костопіль	62,2	1,2
Рівненський район, Деражненська ТГ			
27.	с. Жильжа	57,7–88,2	1,1–1,76
Рівненський район, Олександрійська ТГ			
28.	с. Волошки	74,4	1,46
29.	с. Олександрія	75,3	1,5
Рівненський район, Гощанська ТГ			
30.	с. Красносілля	273,1	5,46
31.	с. Курозвани	343,3	6,8
32.	с. Русивель	386,1	7,7
33.	с. Малятин	233,5–265,8	4,7–5,3
34.	с. Пустомити	73,3–154,2	2,3–3,1
35.	с. Симонів	145,8	2,9
36.	с. Вовкушів	262,7	5,25
37.	с. Дроздів	517,5	10,3
38.	с. Витків	648,2	12,9
Рівненський район, Бабинська ТГ			
39.	с. Дорогобуж	200,5	4,0
40.	с. Бабин	227,4	4,5
41.	с. Рясники	195,8	3,9
Рівненський район, Клеванська ТГ			
42.	с. Углище	127,0	2,5

Узагальнення результатів дослідження якості води показало, що в більшості адміністративних районів області перевищення ГДК за вмістом нітратів в нецентралізованих джерелах має системний характер і зумовлене зокрема, безконтрольним застосуванням органічних і мінеральних добрив як у сільськогосподарських підприємствах, так і в приватних домогосподарствах.

Перевищення ГДК за вмістом нітратів спостерігається в усіх досліджених шахтних колодязях. Найвищий рівень забруднення води зафіксовано в межах Гоцанської ТГ, Рівненського району.

Мікробіологічне забруднення джерел нецентралізованого водопостачання пов'язують з порушенням санітарних вимог до їх розміщення та експлуатації, близькістю до потенційних джерел фекального забруднення, а також недостатнім рівнем санітарної культури населення. Потрапляння у воду патогенних мікроорганізмів (бактерій, вірусів, найпростіших) створює реальну загрозу виникнення інфекційних захворювань та спалахів водно-нітратної й кишкової патології. На сьогодні виділяють два основні механізми мікробіологічного забруднення підземних вод у межах водоносних горизонтів.

Перший пов'язаний із вертикальною міграцією мікроорганізмів разом із субстратами з поверхні ґрунту донизу. Під час інфільтрації забруднюючі агенти проходять крізь ґрунтовий профіль і підстилаючі породи, де під впливом фізичних, хімічних і біологічних процесів відбувається істотне зниження їх концентрації. Встановлено, що шар ґрунту товщиною близько 0,4 м здатний затримувати до 90% бактеріальної маси. За умов цілісності ґрунтового покриву та однорідності підстилаючих порід максимальна глибина проникнення бактерій унаслідок вертикальної фільтрації зазвичай не перевищує 4–5 м.

Другий механізм забруднення пов'язаний із проникненням мікроорганізмів безпосередньо через водозабірні споруди у разі їх неналежного встановлення, порушень правил експлуатації або недотримання вимог зон санітарної охорони. У таких ситуаціях погіршення якості води відбувається швидко, однак після виявлення джерела проблема може бути оперативно локалізована [9].

Суттєва частка відхилень якості води за мікробіологічними показниками характерна саме для нецентралізованих джерел водопостачання. У водному середовищі колодязів та інших індивідуальних водозаборів можливий розвиток патогенних бактерій і вірусів, які здатні спричиняти інфекційні захворювання.

Дані щодо невідповідності якості води із нецентралізованих джерел водопостачання за мікробіологічними показниками в 15-ти районах області, а також містах Рівне та Вараш представлені у таблиці 2. Слід зазначити, що згідно з Постановою Верховної Ради України «Про утворення та ліквідацію районів» (№ 807-ІХ від 17.07.2020) на території Рівненської області було сформовано чотири адміністративних райони (Вараський, Рівненський, Дубенський, Сарненський). Для зручності та забезпечення можливості коректного аналізу і порівняння результатів досліджень якості питної води в Рівненській області, які були проведені починаючи з 2020 року, і результатів багаторічних досліджень, виконаних у період з 2001 по 2019 роки, використовується старий поділ на адміністративні райони.

Аналіз і обробка даних таблиці дозволили нам встановити загальні тенденції формування мікробіологічного забруднення на території Рівненської області. На рис. 1 представлено графік невідповідності якості питної води за мікробіологічними показниками із нецентралізованих джерел у Рівненській області за 2016–2024 роки. На осі ординат відкладався середньорічний відсоток кількості проб води, якість якої, не відповідає нормативним вимогам.

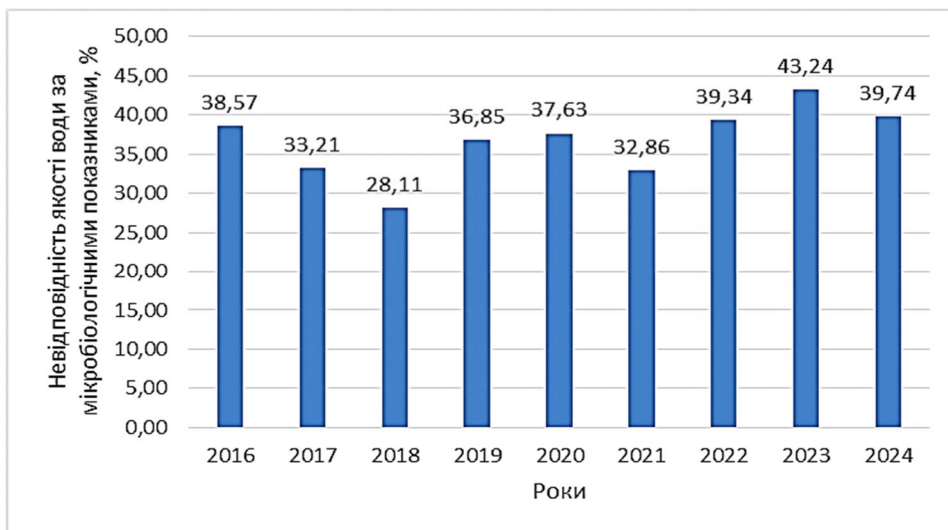


Рис. 1. Відсоток невідповідності якості питної води за мікробіологічними показниками (середньорічні значення) із нецентралізованих джерел у Рівненській області за 2016–2024 рр.

Для вирішення проблеми забезпечення населення питною водою, якість якої відповідає нормативним вимогам, необхідно здійснити оцінювання ризиків можливого забруднення підземних водоносних шарів, що використовуються сільськими мешканцями як джерела питного водопостачання. Запропонована нами методика визначення ризиків, пов'язаних із використанням централізованих і нецентралізованих систем водопостачання (на прикладі Рівненської області), ґрунтується на засадах ризик-орієнтованого підходу та передбачає поетапну реалізацію взаємопов'язаних процедур [9].

Перший етап передбачає ідентифікацію потенційних небезпек, що дає можливість встановити ключові чинники ризику, серед яких провідне значення мають показники якості води, технічний стан і санітарне утримання джерел водопостачання, а також особливості застосованих технологій очищення та підготовки води.

Другий етап полягає у проведенні поглибленого аналізу та кількісному визначенні рівня встановлених ризиків. Заключним етапом є формування та впровадження комплексу управлінських і технічних заходів, спрямованих на мінімізацію або повне усунення виявлених ризиків. Реалізація таких заходів є необхідною умовою підвищення ефективності функціонування систем водопостачання на локальному і регіональному рівнях.

Для нецентралізованих систем водозабезпечення населення найбільш типовими є ризики, пов'язані з недотриманням санітарних норм під час вибору місця розташування та облаштування як громадських, так і приватних колодязів. Порушення зазвичай зумовлені близькістю джерел води до потенційних осередків забруднення – вигрібних ям, надвірних туалетів, каналізаційних мереж, об'єктів утримання худоби, покинутих шахтних колодязів, а також відсутністю належно облаштованих санітарно-захисних зон навколо водозабірних споруд.

Окрему проблему становить невідповідність показників якості питної води встановленим гігієнічним нормативам. Йдеться передусім про перевищення мікробіологічних показників, концентрацій нітратів та окремих хімічних компонентів (зокрема фтору, йоду, магнію, заліза), а також про відхилення за параметрами загальної жорсткості й лужності.

Таблиця 2

Невідповідність якості води із нецентралізованих джерел водопостачання
за мікробіологічними показниками, % (за даними Рівненського обласного ЦКПХ)

№ з/п	Райони	Невідповідність якості води по роках, %								
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1.	Березнівський		10,39	12,12	19,0	4,8	0	0	10,1	27,9
2.	Володимирецький	58,0	50,0	22,92	20,0	0	68,8	69,2	37,5	52,9
3.	Гощанський	70,0	50,0	86,11	77,8	100	94,4	60,0	71,4	84,8
4.	Дубенський	33,3	36,11	22,44	41,8	20,0	40,0	50,0	19,0	29,5
5.	Дубровицький	1,0	2,33	7,14	11,0	5,3	4,1	11,1	11,8	1,8
6.	Зарічненський	5,3	22,58	17,89	11,1	20,0	34,0	39,5	38,5	16,4
7.	Здолбунівський	53,3	33,33	22,53	21,4	66,7	67,0	75,0	100	50,0
8.	Костопільський	64,4	45,45	55,22	70,6	71,2	34,8	51,4	47,7	42,1
9.	Корецький	32,6	41,74	24,11	29,5	21,4	16,9	16,9	18,5	14,9
10.	Млинівський	23,0	41,67	26,67	-	50,0	0	0	-	5,4
11.	Острозький	66,6	62,32	44,05	65,8	42,9	60,7	46,7	45,9	45,2
12.	Радивилівський	4,7	25,2	19,3	15,6	9,5	5,9	12,5	1,7	1,8
13.	Рівненський	-	22,53	20,0	27,3	42,0	37,5	0	91,7	50,0
14.	Рокитнівський	22,6	31,45	11,24	10,0	12,6	8,5	20,7	21,5	29,8
15.	Сарненський	66,7	38,98	50,82	95,0	100	62,5	76,5	53,3	100
16.	м. Рівне		17,33	7,14						
17.	м. Вараш					40,0	29,4	100	80,0	83,3

Виявлення причин такої невідповідності потребує встановлення закономірностей перебігу природних і техногенних процесів, що визначають поширення, міграцію та трансформацію забруднюючих речовин у довкіллі та їхній вплив на якісний склад води. У цьому контексті особливої ваги набуває екологічний моніторинг, зокрема його прогностична функція, яка дозволяє оцінити тенденції та можливі сценарії розвитку зазначених процесів.

В зв'язку з цим важливо мати достатньо надійний інструмент, який дозволить здійснити прогнозування ризику нітратного і мікробіологічного забруднення кожного джерела нецентралізованого водопостачання в сільських населених пунктах, а також встановити категорію об'єкту, який встановлюється в залежності від рівня ризику забруднення. Це насамперед стосується шахтних і трубчастих колодязів.

Варто зазначити, що будь-які прогнози мають імовірнісний характер, оскільки базуються на аналізі даних про стан навколишнього природного середовища як у поточний період, так і в ретроспективі.

Якість підземних вод, які використовуються як джерела нецентралізованого водопостачання у сільській місцевості, формується під впливом природних і антропогенних факторів. На сьогодні забруднення навколишнього середовища, зокрема, водних об'єктів контролюється контактними методами (прямими), але практика демонструє можливість і ефективність використання непрямих методів. Для прогнозу наслідків впливу цих факторів використовують методи системного аналізу, що представлені такими основними групами: методи екстраполяції, методи моделювання та метод експертних оцінок [11].

Для прогнозування ризиків нітратного і мікробіологічного забруднення джерел нецентралізованого водопостачання залежно від умов формування якості води, нами запропоновано модифіковану матрицю Леопольда. При цьому були використані підходи, запропоновані для побудови матриці, призначеної для оцінки впливу на компоненти лімноекосистем [10].

Матриця Леопольда представляє собою контрольний перелік показників, який відображає взаємозв'язки типу «причина – наслідки» та водночас є джерелом інформації про результати цієї взаємодії. В процесі роботи з модифікованою матрицею Леопольда для оцінки умов формування якості води у трубчастих і шахтних колодязях використовується метод експертних оцінок (табл. 3).

У ДСанПіН 2.2.4-171-10 представлено бланк для оформлення «Санітарних паспортів на нецентралізовані джерела водопостачання» [11]. При формуванні модифікованої матриці Леопольда для оцінки умов формування якості води у трубчастих і шахтних колодязях використані показники представлені в цьому документі. Аналіз результатів досліджень дозволяє стверджувати, що рівень нітратного та мікробіологічного забруднення джерел нецентралізованого водопостачання, значною мірою обумовлюється санітарно-технічним станом джерела, а також характером та інтенсивністю господарської діяльності населення на прилеглих територіях.

Робота з матрицею Леопольда для прогнозування ризиків нітратного і мікробіологічного забруднення трубчастих та шахтних колодязів передбачає наступні кроки:

1. У кожній клітині матриці проставити інтенсивність впливу (ω_i) на об'єкт впливу. Інтенсивність впливу оцінюється за шкалою від 0 до 3-х балів.

2. Розрахувати значимість (γ_i) кожного з впливів за формулою:

$$\gamma_i = 100/m_i , \quad (1)$$

де m – кількість значущих комірок у матриці, у яких $\omega \neq 0$

3. Розрахувати загальну силу впливу (I):

$$I = \gamma_i \sum_{i=1}^n \omega_i . \quad (2)$$

У запропонованій нами модифікації матриці Леопольда, призначеній для прогнозування нітратного і мікробіологічного забруднення трубчастих та шахтних колодязів, кількість значущих комірок – 100. В них відображається наявність зв'язку «вплив – наслідки» за шкалою оцінки інтенсивності впливу на досліджуване джерело. В кожен комірку вноситься значення, що характеризує інтенсивність впливу: «0» балів – вплив відсутній; «1» бал – слабкий вплив; «2» бали – середній вплив; «3» бали – сильний вплив, далі розраховується значимість всіх впливів та загальну силу впливу.

Аналіз результатів прогнозування дозволяє встановити чинники, які обумовлюють ризики формування і розповсюдження нітратного та мікробіологічного забруднення для кожного досліджуваного джерела.

При експертному оцінюванні впливів, що обумовлюють інтенсивність та поширення нітратного і мікробіологічного

забруднення, отримані в результаті розрахунків максимальні значення сум балів у стовбцях, відповідають найбільш суттєвим з них. Максимальні отримані значення сум балів у строках відповідають показникам, які є найбільш чутливими в умовах формування нітратного та мікробіологічного забруднення у конкретному джерелі нецентралізованого водопостачання (табл. 3).

На базі матриці Леопольда для прогнозування ризиків нітратного і мікробіологічного забруднення джерел нецентралізованого водопостачання нами розроблений шаблон для визначення категорії об'єкту, який встановлюється залежно від рівня ризику (табл. 4). Категорія об'єкту визначає необхідний режим спостережень за станом досліджуваного джерела з метою зменшення ризику нітратного і мікробіологічного забруднення підземних водоносних горизонтів. За сумою балів у стовпцях і строках, наведених в табл. 4, використовуючи запропоновану нами шкалу, представлену у табл. 5, досліджуваний об'єкт можна віднести до відповідної категорії.

Таблиця 5

Шкала для визначення категорії об'єкту (джерела нецентралізованого водопостачання) з урахуванням ризиків нітратного і мікробіологічного забруднення

Категорія об'єкту	Значення суми балів	Рівень ризику забруднення
I	210–300	високий
II	110–200	середній
III	0–100	низький

Управління ризиками нітратного і мікробіологічного забруднення джерела нецентралізованого водопостачання базується на результатах моніторингу й охоплює обґрунтування та забезпечення робіт з усунення конкретних чинників ризику.

Таблиця 3

Шаблон матриці Леопольда для прогнозування ризиків нітратного і мікробіологічного забруднення джерел нецентралізованого водопостачання (трубчастих та шахтних колодязів)

Показники, що впливають на забруднення води	Впливи та наслідки											
	Забруднення		Водоносний горизонт		Технічний стан			Господарська діяльність				
	азот нітратний	мікробіол. показники	глибина залягання	захищеність	наявність «замка»	відведення стоку	навіс	рілля	сад, город	утримання худоби	відходи та інші джерела	
Забруднення												
азот нітратний												
мікробіологічні показники												
Водоносний горизонт												
глибина залягання												
захищеність												
Технічний стан												
наявність «замка»												
відведення стоку												
навіс/оголовок*												
Господарська діяльність												
рілля												
сад, город												
утримання худоби												
відходи та інші джерела забруднення												
Загальна сила впливу, I												

* наявність навісу враховується при дослідженні шахтних колодязів; улаштування оголовку – трубчастих колодязів.

Шаблон для визначення категорії об'єкту (джерела нецентралізованого водопостачання)

Місце розташування об'єкту _____

№	Показники, що впливають на забруднення питної води	Впливи та наслідки												Сума (показники)
		№ 1		№ 2		№ 3			№ 4					
		1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3	4.4		
№ 1	Забруднення													
1.1	азот нітратний													Σ
1.2	мікробіологічні показники													Σ
№ 2	Водонесний горизонт													
2.1	глибина залягання													Σ
2.2	захищеність													Σ
№ 3	Технічний стан													
3.1	наявність «замка»													Σ
3.2	відведення стоку													Σ
3.3	навіс/оголовок*													Σ
№ 4	Господарська діяльність													
4.1	рілля													Σ
4.2	сад, город													Σ
4.3	утримання худоби													Σ
4.4	відходи та інші джерела													Σ
Сума (впливи та наслідки)		Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	

Загальні рекомендації щодо зниження рівня ризиків включають: паспортизацію та створення інформаційної бази даних екологічного стану джерел водопостачання сільських населених пунктів; застосування пересувних локальних установок з доочищення води; використання засобів дезінфекції для знезараження води джерел децентралізованого водопостачання; контроль за дотриманням умов розташування й облаштування джерел децентралізованого водопостачання згідно з ДСПіН 2.2.4-171-10; реалізацію відомчого лабораторного контролю якості води; контроль за джерелами забруднення шахтних колодязів; знешкодження джерел полютантів; посилення контролю за дотриманням регламентів застосування засобів захисту рослин, мінеральних добрив; відбір та дослідження проб води потрібно проводити як мінімум 2 рази в рік в місцях інтенсивного ведення сільського господарства [9].

Висновки. Розроблений нами підхід до прогнозної оцінки ризиків нітратного та мікробіологічного забруднення шахтних і трубчастих колодязів ґрунтується на застосуванні адаптованої матриці Леопольда. Запропонована методика дає можливість врахувати санітарно-технічний стан об'єктів децентралізованого водопостачання, гідрогеологічні особливості експлуатованого водоносного горизонту, а також специфіку землекористування й ступінь антропогенного навантаження на території формування підземних вод.

За результатами проведеної оцінки кожне джерело нецентралізованого водопостачання відносять до відповідної категорії залежно від прогнозованого рівня ризику нітратного та мікробіологічного забруднення питної води. Така класифікація забезпечує можливість визначення пріоритетності природоохоронних заходів, встановлення оптимального режиму моніторингових спостережень та усунення або мінімізації чинників негативного впливу.

З урахуванням сучасного стану водозабезпечення сільського населення Рівненської області та фактичних показників якості питної води, першочергового значення набувають заходи, спрямовані на впровадження дієвих технологій знезараження води з індивідуальних джерел, застосування мобільних установок локального доочищення, реалізацію регіональних програм розвитку водогосподарського комплексу, проведення інвентаризації та паспортизації колодязів, а

також формування єдиної інформаційної системи щодо екологічного стану джерел питного водопостачання у сільських населених пунктах. Водночас актуальним є розроблення практико-орієнтованих рекомендацій із забезпечення населення водою, якісні показники якої відповідатимуть чинним санітарно-гігієнічним нормативам. Комплексна реалізація окреслених заходів сприятиме зміцненню водної безпеки територій та підвищенню якості життя сільського населення.

Отже, дослідження закономірностей формування нітратного і мікробіологічного забруднення підземних вод, удосконалення систем спостереження та впровадження ризик-орієнтованого управління якістю води є об'єктивно необхідним як з наукового, так і з практичного погляду. Розв'язання цієї проблематики має визначальне значення для забезпечення санітарно-епідемічного благополуччя населення та реалізації засад сталого розвитку у сфері водокористування.

1. Romanchuk L. D., Valerko R. A., Polishchuk Zh. P. et al. Assessment of the impact of organic agriculture on nitrate content in drinking water in rural settlements of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9, No. 2. P. 127–133.
2. Herasymchuk L., Hryshchenko T., Polishchuk S. Water Quality from the Sources of Non-Centralized Water Supply. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23, No. 2. P. 15–22. DOI: 10.2478/eko-2022-0013.
3. Яковлев В. В., Дмитренко Т. В. Деякі особливості нітратного забруднення джерел децентралізованого водопостачання. *Екологічні науки*. 2025. № 4(61). С. 27–33. DOI: 10.32846/2306-9716/2025.eco.4-61.27.
4. Ward M. H., Jones R. R., Brender J. D. et al. Drinking Water Nitrate and Human Health: An Updated Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018. Vol. 15, No. 7. P. 1557. DOI: 10.3390/ijerph15071557.
5. Wenwen Feng, Chao Wang, Xiaohui Lei, Hao Wang, Xueliang Zhang. Distribution of Nitrate Content in Groundwater and Evaluation of Potential Health Risks: A Case Study of Rural Areas in Northern China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020. Vol. 17(24). P. 9390. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249390>
6. Žaneta Maželienė, Giedrė Jarienė, Asta Aleksandravičienė. Microbial and Chemical Contamination in Springs of Northern and Central Lithuania. *Microbiol. Res*. 2025. Vol. 16(11). P. 229. <https://doi.org/10.3390/microbiolres16110229>
7. Bixiong Ye., Linsheng Yang, Yonghua Li, Wuyi Wang. Water Sources and Their Protection from the Impact of Microbial Contamination in Rural Areas of Beijing. *International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH)*. March 2013. Vol. 10(3). P. 879–891. DOI:10.3390/ijerph10030879.
8. Rianna Murray, Rachel E Rosenberg Goldstein, Elisabeth F. Maring, Daphne Pee. Prevalence of Microbiological and Chemical Contaminants in Private Drinking Water Wells in Maryland, USA. *International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH)*. August 2018. Vol. 15(8). P. 1686. DOI:10.3390/ijerph15081686
9. Ліхо О. А., Гакало О. І. Управління ризиками при забезпеченні населення Рівненської області водою : монографія. Рівне : НУВГП, 2013. 195 с.
10. Про затвердження Державних санітарних норм і правил. «Показники безпечності та окремі показники якості питної води в умовах воєнного стану та надзвичайних ситуаціях іншого характеру» : наказ МОЗ від 22.04.2022 р. № 683. URL:

<https://ips.ligazakon.net/document/RE37900?an=1> (дата звернення: 10.02.2026).
11. Геоінформаційні дослідження водних екосистем України: моніторинг та прогнозування : монографія / О. М. Трофимчук, В. М. Триснюк, Є. С. Анпілова та ін. Івано-Франківськ : Видавець: Супрун В. П., 2022. 212 с. **12.** ДСПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. № 452/17747. Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 2010. 48 с.

REFERENCES:

1. Romanchuk L. D., Valerko R. A., Polishchuk Zh. P. et al. Assessment of the impact of organic agriculture on nitrate content in drinking water in rural settlements of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9, No. 2. P. 127–133.
2. Herasymchuk L., Hryshchenko T., Polishchuk S. Water Quality from the Sources of Non-Centralized Water Supply. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23, No. 2. P. 15–22. DOI: 10.2478/eko-2022-0013.
3. Yakovliev V. V., Dmytrenko T. V. Deiaki osoblyvosti nitratoho zabrudnennia dzherel detsentralizovanoho vodopostachannia. *Ekolohichni nauky*. 2025. № 4(61). S. 27–33. DOI: 10.32846/2306-9716/2025.eco.4-61.27.
4. Ward M. H., Jones R. R., Brender J. D. et al. Drinking Water Nitrate and Human Health: An Updated Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018. Vol. 15, No. 7. P. 1557. DOI: 10.3390/ijerph15071557.
5. Wenwen Feng, Chao Wang, Xiaohui Lei, Hao Wang, Xueliang Zhang. Distribution of Nitrate Content in Groundwater and Evaluation of Potential Health Risks: A Case Study of Rural Areas in Northern China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020. Vol. 17(24). P. 9390. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249390>
6. Žaneta Maželienė, Giedrė Jarienė, Asta Aleksandravičienė. Microbial and Chemical Contamination in Springs of Northern and Central Lithuania. *Microbiol. Res*. 2025. Vol. 16(11). P. 229. <https://doi.org/10.3390/microbiolres16110229>
7. Bixiong Ye., Linsheng Yang, Yonghua Li, Wuyi Wang. Water Sources and Their Protection from the Impact of Microbial Contamination in Rural Areas of Beijing. *International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH)*. March 2013. Vol. 10(3). P. 879–891. DOI:10.3390/ijerph10030879.
8. Rianna Murray, Rachel E Rosenberg Goldstein, Elisabeth F. Maring, Daphne Pee. Prevalence of Microbiological and Chemical Contaminants in Private Drinking Water Wells in Maryland, USA. *International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH)*. August 2018. Vol. 15(8). P. 1686. DOI:10.3390/ijerph15081686
9. Likho O. A., Hakalo O. I. Upravlinnia ryzykamy pry zabezpechenni naselennia Rivnenskoj oblasti vodoiu : monohrafiia. Rivne : NUVHP, 2013. 195 s.
10. Pro zatverdzhennia Derzhavnykh sanitarnykh norm i pravyl «Pokaznyky bezpechnosti ta okremi pokaznyky yakosti pytnoi vody v umovakh voiennoho stanu ta nadzvychainykh sytuatsiiakh inshoho kharakteru» : nakaz MOZ vid 22.04.2022 r. № 683. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/RE37900?an=1> (дата звернення: 10.02.2026).
11. Heoinformatsiini doslidzhennia vodnykh ekosystem Ukrainy: monitorynh ta prohnozuvannia : monohrafiia / O. M. Trofymchuk, V. M. Trysniuk, Ye. S. Anpilova ta in. Ivano-Frankivsk : Vydavets: Suprun V. P., 2022. 212 s.
12. DSPiN 2.2.4-171-10. Hihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoj dlia spozhyvannia liudynoju. № 452/17747. Kyiv : Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy, 2010. 48 s.

Likho O. A. [1; ORCID ID: 0000-0001-5991-5035],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Professor,

Safonov R. V. [2]

Chief State Sanitary Doctor in Rivne Region,

Gakalo O. I. [3; ORCID ID: 0000-0001-8892-9786],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Senior Lecturer,

Vozniuk N. M. [1; ORCID ID: 0000-0001-9947-4027],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Professor,

Skyba V. P. [4; ORCID ID: 0000-0003-2233-9438],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor

¹*National University of Water and Environmental Engineering, Rivne*

²*Rivne Regional Center for Disease Control and Prevention*

³*SSU «Rivne Technical Professional College of NUWEE», Rivne*

⁴*Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, Zaporizhzhia*

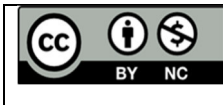
FORECASTING THE RISKS OF NITRATE AND MICROBIOLOGICAL POLLUTION OF SOURCES OF DISTRICT WATER SUPPLY

The study is aimed at providing a scientific substantiation of methodological approaches to the predictive assessment of risks of nitrate and microbiological contamination of decentralized water supply sources, taking into account the conditions of water quality formation. For this purpose, a comprehensive investigation of the problem of nitrate and microbiological contamination of individual and public water intake facilities was conducted. This issue has remained one of the most pressing challenges for rural areas in countries with highly developed agricultural sectors for many years. The persistent and multifactorial nature of these types of contamination is determined by the combined influence of natural hydrogeological conditions, the intensity of land use, the technical condition of engineering infrastructure, and the effectiveness of environmental control. In this context, the development of a reliable tool enabling individualized assessment and prediction of nitrate and microbiological contamination risks for each specific water supply source within rural settlements becomes particularly relevant. To address this objective, a modified Leopold matrix is proposed as a tool for risk prediction, taking into account the conditions of groundwater quality formation. Decentralized water supply systems are typically associated with risks arising from non-compliance with sanitary and hygienic requirements when selecting locations and arranging both public and private wells. Common violations include the placement of water intakes in close proximity to potential sources of contamination—such as cesspits, outdoor latrines, sewer networks, livestock facilities, abandoned shaft wells—as well as the absence of properly established sanitary protection zones around water intake structures. The results of the predictive assessment make it possible

to identify the key factors determining the formation and spread of nitrate and microbiological contamination for each studied source. Based on the adapted Leopold matrix, a unified template has been developed to determine the category of a facility depending on the established level of risk. The assigned category defines the monitoring regime and the implementation of a set of measures aimed at minimizing the risks of nitrate and microbial contamination of groundwater aquifers.

Keywords: decentralized water supply sources; nitrates; microbiological pollution; forecasting; risks; Leopold matrix.

Отримано / Received: 02.03.2026
Прийнято до друку / Accepted: 16.03.2026
Опубліковано / Published: 27.03.2026



© 2026 [Likho O. A., Safonov R. V., Gakalo O. I., Vozniuk N. M., Skyba V. P.]. Licensee {NUWEE}. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org)

УДК 911.5:631+528.8

<https://doi.org/10.31713/vs1202611>

Максютов А. О. [1; ORCID ID: 0000-0002-5486-634X],

к.пед.н., доцент,

Хіміч М. І. [1; ORCID ID: 0000-0003-2383-5636],

доктор філософії, старший викладач

¹Уманський національний університет, м. Умань, Черкаська область

ВИЗНАЧЕННЯ ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ АГРОЛАНДШАФТІВ НА ОСНОВІ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

У статті проаналізовано науково-методичні підходи щодо визначення та оцінювання ландшафтного різноманіття агроландшафтів за матеріалами дистанційного зондування Землі з космосу. Розглянуто теоретичне підґрунтя ландшафтометричного підходу – від класичних концепцій ландшафтної екології до сучасних геоінформаційних технологій. Проаналізовано п'ять базових категорій просторової структури агроландшафтів: розмір, форма, цілісність, фрагментація та різноманіття фрагментів. Обґрунтовано систему з десяти ключових ландшафтних метрик для моніторингу агроландшафтів Лісостепу України, які демонструють статистично значущий кореляційний зв'язок з рівнем розораності, часткою природних угідь і щільністю лісосмуг. Запропоновано п'ятирівневу класифікацію стану агроландшафтів за індексами ландшафтного різноманіття та встановлено порогові значення для кожного класу. Описано удосконалену методику автоматизованого дешифрування класів наземного покриву шляхом синтезу оптичних знімків Landsat-8 та радіолокаційних даних Sentinel-1, що забезпечує просторове розрізнення 8,25 м при використанні безкоштовних даних. Показано практичне застосування ландшафтних метрик для аналізу динаміки землекористування, моделювання сценаріїв оптимізації агроландшафтів та оцінки ефективності ґрунтозахисних контурно-меліоративних заходів.

Встановлено, що дистанційне зондування Землі постає як ключовий інструмент оперативного виявлення змін, які неможливо відстежити традиційними методами польового обстеження через обмежений доступ до територій. По-друге, дослідження результатів проведеного дослідження підтвердили високу ефективність використання супутникових даних Sentinel-2 для виявлення змін у структурі агроландшафтів. Багатоспектральні індекси, зокрема NDVI (нормалізований індекс рослинності), дозволяють простежити динаміку рослинного покриву, рівень деградації земель та ознаки ерозійних процесів. Інтеграція цих даних у геоінформаційне середовище дає змогу

створювати просторові моделі, які відображають як сучасний стан територій, так і тенденції трансформації агроландшафтів у часі.

Ключові слова: землевпорядкування; трансформація угідь; збалансоване землекористування; ландшафтне різноманіття; дистанційне зондування Землі; агроландшафт.

Постановка проблеми. Актуальність теми нашого дослідження обумовлена тим, що збереження ландшафтного різноманіття належить до першочергових екологічних завдань, визначених Всеєвропейською стратегією зі збереження біологічного та ландшафтного різноманіття [10], Конвенцією про біологічне різноманіття та Європейською ландшафтною конвенцією [11]. В аграрних екосистемах України ця проблема набуває особливого значення, оскільки надмірна розораність рівнинної частини країни призвела до суттєвого скорочення природних ландшафтів та деградації агробіорізноманіття.

Відповідно до концепції збалансованого розвитку агроекосистем, ключовим механізмом регулювання речовинно-енергетичного балансу у довкіллі є просторова структура агроландшафту [9, С. 65]. Надмірна фрагментація природного наземного покриву порушує природні зв'язки в екосистемах, зменшує їхню стійкість та здатність до самовідновлення. Незадовільна щільність мережі полезахисних і протиерозійних об'єктів у агроландшафтах України знижує як їхню екологічну стійкість, так і продуктивність сільськогосподарського виробництва в цілому.

Разом з тим існуюча система агроекологічного моніторингу зосереджена переважно на рівні окремих суб'єктів господарювання та посівів (агроценозів), а не ландшафтних структур. Це унеможливляє системну оцінку стану ландшафтного різноманіття та ухвалення науково обґрунтованих управлінських рішень. Отже, пошук нових критеріїв та вдосконалення методів оцінки ландшафтного різноманіття із залученням засобів дистанційного зондування Землі є актуальним науковим завданням сучасної агроекології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні засади ландшафтної екології та методології аналізу просторової структури ландшафтів закладені у працях: Барановського В. А. [1], Гродзинського М. Д. [2], Мудрака О. В. [8], Gardner R., M. Turner M. [15] та E. Neef [14] та інших. Сучасну систему кількісних ландшафтних індексів (ландшафтних метрик) розробив К. МакГарігал [14],

результатом є програмне забезпечення FRAGSTATS, яке нині налічує понад сто статистико-математичних алгоритмів.

В Україні дослідженням просторової структури ландшафтів присвячені праці Дідуха Я. П. [3], Льєнка Т. В. [6], Тараріка О. Г., Сиротенка О. В., Волошина В. І. [7], Стадника А. П. [9], Готиняна В. С., Кучми Т. Л. [12], Лялько В. І., Попова М. О. [13] та інших. Питання взаємозв'язку ландшафтної структури з біорізноманіттям розглядали Cushman S. [14], Anderson J. R., Hardy E. E., Roach J. T., Witmer R. E. [18] та інші. Проте проблема вибору оптимальних ландшафтних метрик та їхньої інтерпретації для умов агроландшафтів Лісостепу України залишається відкритою.

Розвиток методів дистанційного зондування Землі та геоінформаційних технологій відкрив нові можливості для кількісної оцінки ландшафтного різноманіття за супутниковими знімками. Зокрема, дані систем Landsat і Sentinel Європейського космічного агентства перебувають у вільному доступі, що робить їх привабливими для масштабного моніторингу [17, С. 87]. Проте потенціал комбінованого застосування оптичних і радарних знімків для визначення ландшафтного різноманіття агроєкосистем України залишається недостатньо дослідженим.

Мета і завдання досліджень. Систематизувати та презентувати науково обґрунтовану систему методів індикації ландшафтного різноманіття агроландшафтів за даними дистанційного зондування Землі, придатну для використання у системі агроєкологічного моніторингу та управління землекористуванням.

Для досягнення мети вирішувались такі завдання: обґрунтувати критерії оцінки ландшафтного різноманіття агроландшафтів Лісостепу; виявити ефективні ландшафтні метрики шляхом кореляційного аналізу; запропонувати шкалу інтерпретації індексів; удосконалити методику автоматизованого картографування наземного покриття з використанням поєднання оптичних і радарних даних; продемонструвати практичне застосування метрик для аналізу динаміки землекористування та моделювання сценаріїв оптимізації агроландшафтів.

Об'єктом дослідження є агроландшафтне різноманіття Лісостепової зони України (Уманський район Черкаської області). Дослідження здійснювалось на 20 тестових аграрних полігонах площею 2500 га кожен в Уманському районі Черкаської області. Вибір ділянок проводився з урахуванням різного рівня розораності, виразних деградаційних процесів і наявності різноманітного рослинного покриття.

Основними методами досліджень виступали: аерокосмічний (дешифрування супутникових знімків RapidEye 5 м, Landsat-8, Sentinel-1 у програмах ErdasImagine 10, BeamVisat 5 та ArcGIS 10.2); ландшафтометричний (розрахунок 39 індексів ландшафтного різноманіття у FRAGSTATS 4.2 двома способами – у фіксованих та ковзаючих вікнах); статистичний (кореляційний аналіз Спірмена та лінійна множинна регресія у SPSS 16.0); картографічний (векторизація і зонування результатів у ГІС); польовий (наземна верифікація дешифрування, вимірювання NDVI прибором GreenSeeker handheld crop на 108 полях пшениці озимої).

Виклад основного матеріалу досліджень. Сьогодні глобальні та регіональні дані про сільське господарство є необхідними для задоволення різноманітних суспільних потреб. Зокрема, національна й міжнародна аграрна політика, світова торгівля та продовольча безпека значною мірою залежать від достовірної та своєчасної інформації про виробництво сільськогосподарських культур. Вирішення цього завдання забезпечується шляхом організації моніторингових досліджень природного середовища. Система агромоніторингу має оперативно надавати відомості про стан агроресурсного потенціалу, зокрема посівів, на локальному, регіональному та національному рівнях.

Супутникові дані моніторингу стану природних ресурсів – земельних, водних і біологічних – набувають дедалі більшого значення в процесах управління, ухвалення рішень і прогнозування в аграрному секторі економіки. Поєднання дистанційного зондування із моделюванням дає змогу своєчасно отримувати інформацію про стан агроєкосистем на значних територіях із належною просторовою деталізацією та за відносно невеликих витрат.

Сучасний ландшафтометричний підхід ґрунтується на системній парадигмі та екосистемній концепції. Ландшафт розглядається як гетерогенна територія, що складається з кластеру взаємодіючих екосистем, які закономірно повторюються у просторі. Структуру ландшафту прийнято аналізувати на трьох ієрархічних рівнях: рівень окремого фрагменту (патчу), рівень класу (типу наземного покриву) та ландшафтний рівень.

Всеєвропейська стратегія визначає ландшафтне різноманіття як «формальний вираз численних зв'язків між індивідуумом або суспільством та топографічно окресленою територією, зовнішній

прояв яких є результатом впливу природних та людських чинників протягом певного часу» [10].

Ландшафтна структура впливає на ряд екологічних процесів: збереження біорізноманіття, забезпечення екосистемних послуг, здатність природних систем до самовідновлення. Основними структурними факторами, що визначають ці процеси, є: площа ареалу виду, фрагментованість та ізольованість біотопів, крайовий ефект та різноманіття середовищ існування.

Надмірна фрагментація природних угідь спричиняє чотири взаємопов'язані наслідки: втрату середовища існування, посилення крайових ефектів, зменшення розміру природних фрагментів та зростання ізоляції популяцій. Ці процеси призводять до скорочення генетичного різноманіття, ослаблення популяцій і підвищення вразливості екосистем до інвазій та кліматичних збурень.

Загальноновизнаним інструментарієм кількісної оцінки ландшафтної структури є ландшафтні метрики – статистико-математичні алгоритми, що обчислюють специфічні просторові характеристики ландшафтів (форму, площу, конфігурацію та розподіл елементів) на основі категорійних карт наземного покриття. На сьогодні описано понад сто подібних індексів. Вони зосереджені у програмному забезпеченні FRAGSTATS, розробленому Лабораторією ландшафтної екології Університету Массачусетс під керівництвом К. МакГарігала [16, С. 691].

На підставі аналізу наукових джерел та нормативно-методичних документів визначено перелік критеріїв ландшафтного різноманіття, що мають значення для збереження біорізноманіття та стабільності агроекосистем. Їх об'єднано у п'ять основних категорій просторової структури агроландшафту (табл. 1).

Для кожного критерію було відібрано відповідні ландшафтні метрики з бібліотеки FRAGSTATS 4.2. Загалом для аналізу тестових аграрних полігонів були розраховані значення 39 індексів. Кореляційний аналіз виконувався між значеннями індексів та трьома ключовими параметрами структури агроландшафтів: рівнем розораності (%), часткою природних угідь (%) та сумарною довжиною лісосмуг (м) у межах тестових аграрних полігонів. Граничним значенням суттєвої залежності вважалось $R > 0,6$ при $p < 0,05$ за Спірменом [18, С. 28].

Таблиця 1

Критерії оцінки різноманіття агроландшафтів Лісостепу України [2]

Категорія структури	Рівень фрагменту	Рівень класу	Рівень ландшафту
Розмір	Площа окремого природного біотопу	Рівень лісистості; щільність лісосмуг	Частка природних угідь; довжина межі між природними біотопами
Цілісність	–	Наявність природних ядер, ключових ділянок	–
Форма	Складність форми природної ділянки (крайовий ефект)	–	–
Фрагментація	–	Рівень фрагментації; відстань між біотопами	Наявність екологічних коридорів
Різноманіття	–	–	Кількість класів; рівномірність їх розподілу

За результатами кореляційного аналізу встановлено, що 10 індексів із 39 мають статистично значущий зв'язок ($R > 0,7$; $p < 0,001$) з вибраними параметрами структури агроландшафтів (табл. 2). Зокрема, 10 метрик корелюють з рівнем розораності та часткою природних угідь, а 14 – з довжиною лісосмуг.

Варто зазначити, що деякі з виявлених ефективних індексів корелюють між собою (утворюючи чотири функціональні групи), що свідчить про їхню часткову взаємозамінність. Наприклад, у групу емпірично близьких входять ED, PARA, CONTIG, LSI, PLADJ та AI з коефіцієнтом взаємної кореляції $R > 0,99$.

Таблиця 2

Система оптимальних ландшафтних метрик для оцінки
агроландшафтів Лісостепу [2]

Індекс (скорочення)	Категорія	Рівень застосування	Зв'язок з показниками тестових аграрних полігонів
Найбільший фрагмент (LPI)	Розмір	Клас/ландшафт	Лісосмуги: -0,65
Щільність меж (ED)	Розмір	Клас/ландшафт	Лісосмуги: 0,97
Розподіл ядер (CAI)	Цілісність	Клас прир. угідь	Розораність: -0,73
Різноманіття Шеннона (SHDI)	Різноманіття	Ландшафт	Лісосмуги: 0,81; розораність: -0,78
Рівномірність Сімпсона (SIEI)	Різноманіття	Ландшафт	Прир. угіддя: 0,77; розораність: -0,83
Контакт (CONTAG)	Фрагментація	Ландшафт	Розораність: 0,88
Окружність (CIRCLE)	Форма	Клас	Розораність: -0,74
Щільність фрагментів (PD)	Фрагментація	Клас/ландшафт	Лісосмуги: 0,80
Близькість (PROX)	Фрагментація, ізоляція	Клас прир. угідь	Розораність: 0,65
Зчеплення (COHESION)	Фрагментація	Клас/ландшафт	Лісосмуги: -0,74

Це дозволяє застосовувати один з них (рекомендовано ED або PARA) замість усієї групи, скорочуючи обсяг аналізу без втрати інформативності. Отримані результати узгоджуються з висновками S. A. Cushman та ін. щодо емпірично надлишкових ландшафтних метрик [16, С. 703].

Для вивчення функціонального значення ландшафтної структури щодо продуктивності агроєкосистем виконано регресійний аналіз ландшафтних метрик та нормалізованого вегетаційного індексу (NDVI) пшениці озимої. NDVI визначався за даними супутникової зйомки Landsat-5 та підтверджувався наземними вимірюваннями на 108 полях в Уманському районі.

Як додаткові предиктори у моделі множинної лінійної регресії враховувались максимальна крутизна схилу поля (за ЦМР ArcGIS) та тип ґрунту. За результатами аналізу встановлено, що 26% дисперсії значень NDVI пояснюється включеними в модель ландшафтними індексами (коефіцієнт кореляції Пірсона – 0,507; коефіцієнт детермінації R^2 – 0,257; значущість за критерієм Фішера $p < 0,05$; тест Дарбіна – Ватсона – 1,845). Автокореляція між залишками відсутня, що підтверджує якість моделі [15, С. 401].

Найбільший вплив на значення NDVI справляли індекс щільності меж (ED), індекс розподілу ядер (CAI), індекс контакту (CONTAG) та індекс різноманіття Шеннона (SHDI) ($p < 0,05$). Отримані результати свідчать, що ландшафтне різноманіття, яке кількісно описується цими індексами, сприяє підвищенню продуктивності посівів через покращення послуг запилення та біологічного контролю шкідників. Це підтверджує доцільність включення ландшафтних метрик у розрахунок вартості екосистемних послуг агроландшафтів.

Значення ландшафтних метрик є відносними показниками, тому виникає потреба у розробці шкали їхньої екологічної інтерпретації. За основу прийнята агроекологічна класифікація структури агроландшафтів, що розподіляє їх на п'ять класів залежно від рівня розораності та частки природних угідь [9, С. 74].

Застосування регресійного аналізу дозволило встановити порогові значення ландшафтних метрик для кожного класу. Методика розроблялась лише для тих шести індексів, для яких коефіцієнт детермінації регресійної моделі перевищував 50% (тобто індекс достовірно відображає відповідний структурний показник). Для чотирьох індексів (CIRCLE, CORE, DCORE, PROX) коефіцієнт детермінації виявився нижче порогового, що свідчить про складнішу нелінійну залежність та вимагає окремого вивчення (табл. 3).

Апробація запропонованої методики на території Уманського району показала, що значна частина району оцінюється як оптимальні за індексом різноманіття Шеннона. Південно-східна частина Уманського району характеризується як критична (надмірна розораність, SHDI $< 0,38$), що вказує на необхідність вжиття невідкладних заходів з оптимізації структури землекористування.

Таблиця 3

Порогові значення індексів ландшафтного різноманіття для класифікації стану агроландшафтів [2]

Стан агроландшафту	Розораність	Природні угіддя	SHDI	SIDI	SHEI	SIEI	CONTAG
Оптимальний	<20%	>80%	>1,34	>0,65	>0,66	>0,76	<66
Добрий	20–37%	63–80%	1,21–1,34	0,60–0,65	0,59–0,66	0,69–0,76	66–69
Задовільний	37–54%	46–63%	1,07–1,21	0,55–0,60	0,52–0,59	0,62–0,69	69–73
Незадовільний	54–70%	30–46%	0,94–1,07	0,50–0,55	0,46–0,52	0,56–0,62	73–76
Критичний	>70%	<30%	<0,94	<0,50	<0,46	<0,56	>76

Коректне визначення ландшафтних метрик потребує точної карти наземного покриття з просторовим розрізненням не менше 5–10 м. Комерційні знімки цього класу (RapidEye, SPOT, WorldView) є ефективними, але дорогими. Тому частиною дослідження стало обґрунтування можливості використання безкоштовних знімків Landsat-8 (30 м) та Sentinel-1 для отримання мультиспектральних зображень з достатнім просторовим розрізненням [14].

Супутниковий апарат Sentinel-1, оснащений радаром із синтезованою апертурою (SAR), надає знімки з розміром пікселя 5×10 м і є повністю відкритим для використання. Принципова відмінність від оптичних знімків полягає в тому, що радарний сигнал реєструє геометричні та фізичні параметри поверхні і не залежить від хмарності та атмосферних умов, що особливо важливо для оперативного моніторингу.

Для синтезу оптичних і радарних даних порівнювались два методи: метод головних компонент (PCA) та метод перетворення Брові (Brovey Transform). Відповідно до результатів оцінки точності класифікації, метод перетворення Брові виявився ефективнішим: він дозволив отримати мультиспектральне зображення з просторовим розрізненням 8,25 м і точністю розпізнавання сільськогосподарських угідь 95,77% (помилка – 4,23%), що порівнянню з точністю комерційних знімків RapidEye 5 м (помилка – 4,76%) (табл. 4).

Таблиця 4

Порівняльна оцінка точності класифікації наземного покриття при різних типах обробки супутникових даних [2]

Тип даних	Ліс, км ²	Трав. рослинність, км ²	С.-г. угіддя, км ²	Загальна помилка, %
Еталон (RapidEye 5 м)	530	144	945	–
Landsat 30 м	676	117	451	>50 для с.-г.
Landsat + злиття Брові (8,25 м)	485	140	985	4,23 для с.-г.
RapidEye 5 м (класифік.)	570	153	900	4,76 для с.-г.

Окрім вдосконалення алгоритму синтезу, у дослідженні здійснено деталізацію європейського класифікатора наземного покриття CORINE Land Cover до четвертого рівня ієрархії для категорії сільськогосподарських угідь України. Визначено 20 класів четвертого рівня із описом дистанційних та наземних ознак дешифрування. Це дозволяє здійснювати детальніший моніторинг структури посівних площ і сівозмін у системі аерокосмічного моніторингу та інтегрувати українські дані у загальноєвропейські бази дистанційного зондування Землі [6, С. 7].

Також виявлено залежність значень ландшафтних метрик від просторового розрізнення вхідних даних. Індекси групи різноманіття (SHDI, SIDI, SHEI, SIEI) є найменш чутливими до зниження розрізнення: між вибірками 250 м (MODIS) та 30 м (Landsat) встановлено кореляцію $R > 0,62$ ($p < 0,001$ за Пірсоном). Це дозволяє замінювати дані з розрізненням від 30 м на дані 250 м для оперативної регіональної оцінки ландшафтного різноманіття без суттєвої втрати якості результатів [14].

Для аналізу динаміки ландшафтного різноманіття використовувались дані MODIS з розрізненням 250 м за 2023–2024 рр. Розраховані значення індексів фрактальної розмірності (FRAC), різноманіття Шеннона (SHDI) та однорідності Сімпсона (SIEI) дозволили простежити міжрічну мінливість структури

агроландшафтів. В Уманському районі виявлено обернену залежність між площею сільськогосподарських угідь і значеннями індексів ландшафтного різноманіття ($R = -0,85$; $p < 0,01$ за Пірсоном). Зменшення площі орних земель у 2023–2024 рр. та у 2025 р. відповідало найвищим значенням індексів SHDI та SIEI за увесь розглянутий період.

Для оцінки ефективності різних стратегій оптимізації агроландшафтів було змодельовано три сценарії для двох полігонів із різним рівнем сільськогосподарського освоєння (12 та 64% ріллі відповідно): 1) закладання лісосмуг завширшки 15 м уздовж доріг і посеред великих полів (>100 га); 2) формування смуг трав'яної рослинності аналогічної ширини; 3) виведення ерозійно деградованих ділянок зі складу орних земель. За більшістю індексів усі три сценарії покращують ландшафтне різноманіття порівняно з поточним станом, причому найістотніший ефект спостерігається на полігоні з переважанням орних земель (64% ріллі): збільшення SIDI до 0,92 при поточному значенні 0,76 [7, С. 9].

Окремо оцінено ефективність ґрунтозахисної контурно-меліоративної системи землеробства, що передбачає виведення зі складу орних земель ділянок на схилах крутизною понад 3° та їх залуження чи залісення. У межах Уманського району 11,38 км² сільськогосподарських угідь розташовано на схилах з таким кутом нахилу, що становить 1,9% від загальної площі ріллі. Реалізація відповідних заходів збільшить значення SHDI в середньому на 2,64% в Уманському районі. Для окремих полігонів приріст є значно вищим: ТАП М28 – +10,84%, ТАП К12 – +9,94%. Навіть помірне (5%) підвищення врожайності, зумовлене покращенням екосистемних послуг, цілком компенсує скорочення посівних площ.

Висновки. Систематизовано науково-методичні підходи до індикації ландшафтного різноманіття агроландшафтів і визначено, що їх просторову структуру доцільно оцінювати за п'ятьма ознаками на трьох ієрархічних рівнях. Обґрунтовано систему з 10 ландшафтних індексів, які мають тісний статистичний зв'язок із рівнем розораності, часткою природних угідь і щільністю лісосмуг.

Встановлено, що ландшафтні метрики пояснюють 26% варіації продуктивності пшениці озимої, причому найбільший вплив мають ED, CAI, CONTAG і SHDI. Запропоновано п'ятирівневу шкалу оцінки стану агроландшафтів із пороговими значеннями ключових індексів.

Удосконалено методику класифікації наземного покриття на основі поєднання даних Landsat-8 і Sentinel-1, що забезпечило високу точність (95,77%). Доведено ефективність впровадження контурно-

меліоративної системи землекористування, яка підвищує різноманіття агроландшафтів і є економічно доцільною.

Обґрунтовано доцільність використання дистанційного зондування для оцінки ландшафтного різноманіття, що сприяє ефективному управлінню земельними ресурсами. Вдосконалення системи агроекологічного моніторингу визначено як важливу умову сталого розвитку аграрного виробництва.

1. Барановський В. А. Екологічний стан агроландшафтів та шляхи його оптимізації. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. Київ, 2006. Вип. 93. С. 68–78.
2. Гродзинський М. Д. Виміри та показники ландшафтного різноманіття. *Journal of Education, Health and Sport*. 2015. № 5. С. 283–291.
3. Дідух Я. П. Теоретичні підходи до створення класифікації екосистем. *Український фітоценологічний збірник*. 2005. № 1. С. 3–14.
4. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо вдосконалення системи управління та дерегуляції у сфері земельних відносин : Закон України від 28.04.2021 № 1423-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1423-20#n1474> (дата звернення: 26.02.2026).
5. Земельний кодекс України. *Верховна Рада України*. Київ : Парлам. вид-во, 2002. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14> (дата звернення: 21.02.2026).
6. Ільєнко Т. В. Оцінювання вологозабезпеченості агрофітоценозів за даними дистанційного зондування землі з космосу : дис. ... канд. с.-г. наук : 03.00.16. Київ, 2014. 205 с.
7. Тараріко О. Г., Сиротенко О. В., Волошин В. І. Використання космічних технологій в агропромисловому комплексі України. *Вісник аграрної науки*. 2007. № 7. С. 5–9.
8. Мудрак О. В. Ландшафтне різноманіття як основа планування й функціонування екологічної мережі. *Агроекологічний журнал*. 2012. № 3. С. 20–26.
9. Стадник А. П. Структурно-функціональна організація агроландшафтних систем. *Вісник ХНАУ. Сер. Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство*. 2013. № 1. С. 65–74.
10. Всеєвропейська стратегія збереження біологічного та ландшафтного різноманіття. 1995. URL: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/994_711 (дата звернення: 22.02.2026).
11. Конвенція про біологічне різноманіття. П'ятий національний звіт України. Міністерство екології та природних ресурсів України. 2015. URL: <https://www.cbd.int/doc/world/ua/ua-nr-05-uk.pdf> (дата звернення: 25.02.2026).
12. Готинян В. С., Кучма Т. Л. Дослідження стану природних територій методами дистанційного зондування землі з високим просторовим розрізненням. *Вісник геодезії та картографії*. 2005. № 1. С. 36–39.
13. Лялько В. І., Попов М. О. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування : посіб. Київ : Наукова думка, 2006. 360 с.
14. McGarigal K., Cushman S. A., Neel M. C., Ene E. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. University of Massachusetts, Amherst, 2022. URL: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html> (дата звернення: 20.02.2026).
15. Turner M. G., Gardner R. H., O'Neill R. V. Landscape ecology in theory and practice: pattern and process. New York : Springer, 2024. 401 p.
16. Cushman S. A., McGarigal K., Neel M. C. Parsimony in landscape metrics: strength, universality, and consistency. *Ecological Indicators*. 2023. Vol. 8. P. 691–703. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.12.002>.
17. European Environment Agency.

Landscape fragmentation in Europe. *EEA Report*. Copenhagen, 2021. No. 2. 87 p.
18. Anderson J. R., Hardy E. E., Roach J. T., Witmer R. E. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. *U.S. Geological Survey Professional Paper*. Washington, 1976. 28 p.

REFERENCES:

1. Baranovskiy V. A. Ekolohichniy stan ahrolandshaftiv ta shliakhy yoho optymizatsii. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho ahrarynoho universytetu*. Kyiv, 2006. Vyp. 93. S. 68–78.
2. Hrodzynskiy M. D. Vymiry ta pokaznyky landshaftnoho riznomanittia. *Journal of Education, Health and Sport*. 2015. № 5. S. 283–291.
3. Didukh Ya. P. Teoretychni pidkhody do stvorennia klasyfikatsii ekosystem. *Ukrainskyi fitotsenolohichniy zbirnyk*. 2005. № 1. S. 3–14.
4. Pro vnesennia zmin do deiakyykh zakonodavchykh aktiv Ukrainy shchodo vdoskonalennia systemy upravlinnia ta derehuliatcii u sferi zemelnykh vidnosyn : Zakon Ukrainy vid 28.04.2021 № 1423-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1423-20#n1474> (data zvernennia: 26.02.2026).
5. Zemelnyi kodeks Ukrainy. Verkhovna Rada Ukrainy. Kyiv : Parlam. vyd-vo, 2002. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14> (data zvernennia: 21.02.2026).
6. Ilienکو T. V. Otsiniuvannia volohozabezpechenosti ahrofitotsenoziv za danyy dystantsiinoho zonduvannia zemli z kosmosu : dys. ... kand. s.-h. nauk : 03.00.16. Kyiv, 2014. 205 s.
7. Tarariko O. H., Syrotenko O. V., Voloshyn V. I. Vykorystannia kosmichnykh tekhnolohii v ahropromyslovomu kompleksi Ukrainy. *Visnyk ahrarynoi nauky*. 2007. № 7. S. 5–9.
8. Mudrak O. V. Landshaftne riznomanittia yak osnova planuvannia y funktsionuvannia ekolohichnoi merezhi. *Ahroekolohichniy zhurnal*. 2012. № 3. S. 20–26.
9. Stadnyk A. P. Strukturno-funktsionalna orhanizatsiia ahrolandshaftnykh system. *Visnyk KhNAU. Ser. Gruntoznavstvo, ahrokhimiia, zemlerobstvo*. 2013. № 1. S. 65–74.
10. Vseievropeiska stratehiia zberezhennta biolohichnoho ta landshaftnoho riznomanittia. 1995. URL: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/994_711 (data zvernennia: 22.02.2026).
11. Konventsiiia pro biolohichne riznomanittia. Piatyi natsionalnyi zvit Ukrainy. Ministerstvo ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy. 2015. URL: <https://www.cbd.int/doc/world/ua/ua-nr-05-uk.pdf> (data zvernennia: 25.02.2026).
12. Hotynian V. S., Kuchma T. L. Doslidzhennia stanu pryrodnykh terytorii metodamy dystantsiinoho zonduvannia zemli z vysokym prostоровym rozrznenniam. *Visnyk heodezii ta kartohrafii*. 2005. № 1. S. 36–39.
13. Lialko V. I., Popov M. O. Bahatospektralni metody dystantsiinoho zonduvannia Zemli v zadachakh pryrodokorystuvannia : posib. Kyiv : Naukova dumka, 2006. 360 s.
14. McGarigal K., Cushman S. A., Neel M. C., Ene E. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. University of Massachusetts, Amherst, 2022. URL: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html> (data zvernennia: 20.02.2026).
15. Turner M. G., Gardner R. H., O'Neill R. V. Landscape ecology in theory and practice: pattern and process. New York : Springer, 2024. 401 p.
16. Cushman S. A., McGarigal K., Neel M. C. Parsimony in landscape metrics: strength, universality, and consistency. *Ecological Indicators*. 2023. Vol. 8. P. 691–703. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.12.002>.
17. European Environment Agency. Landscape fragmentation in Europe. *EEA Report*. Copenhagen, 2021. No. 2. 87 p.
18. Anderson J. R., Hardy E. E., Roach J. T., Witmer R. E. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. *U.S. Geological Survey Professional Paper*. Washington, 1976. 28 p.

Maksiutov A. O. [1; ORCID ID: 0000-0002-5486-634X],
Candidate of Pedagogic Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Khimich M. I. [1; ORCID ID: 0000-0003-2383-5636],
Ph.D., Senior Lecturer

¹Uman National University, Uman, Cherkasy region

DETERMINATION OF LANDSCAPE DIVERSITY OF AGROLANDS BASED ON REMOTE SENSING DATA

The article analyzes scientific and methodological approaches to determining and assessing the landscape diversity of agricultural landscapes based on materials from remote sensing of the Earth from space. The theoretical basis of the landscapemetric approach is considered – from classical concepts of landscape ecology to modern geoinformation technologies. Five basic categories of the spatial structure of agricultural landscapes are analyzed: size, shape, integrity, fragmentation and diversity of fragments. A system of ten key landscape metrics for monitoring agrolandscapes of the Forest-Steppe of Ukraine is substantiated, which demonstrate a statistically significant correlation with the level of plowing, the share of natural lands and the density of forest belts. A five-level classification of the state of agrolandscapes according to landscape diversity indices is proposed and threshold values for each class are established.

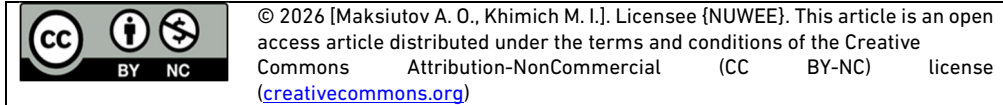
An improved method for automated decoding of land cover classes by synthesizing Landsat-8 optical images and Sentinel-1 radar data is described, which provides a spatial resolution of 8.25 m when using free data. The practical application of landscape metrics for analyzing land use dynamics, modeling scenarios for optimizing agrolandscapes, and assessing the effectiveness of soil protection contour and reclamation measures is shown.

It has been established that remote sensing of the Earth appears as a key tool for the rapid detection of changes that cannot be tracked by traditional field survey methods due to limited access to territories.

The results of the study confirmed the high efficiency of using Sentinel-2 satellite data to detect changes in the structure of agricultural landscapes. Multispectral indices, in particular NDVI (Normalized Difference Index vegetation), allow us to trace the dynamics of vegetation cover, the level of land degradation and signs of erosion processes. The integration of these data into the geoinformation environment makes it possible to create spatial models that reflect both the current state of territories and the trends in the transformation of agricultural landscapes over time.

Keywords: land management; land transformation; balanced land use; landscape diversity; remote sensing of the Earth; agricultural landscape.

Отримано / Received: 28.02.2026
Прийнято до друку / Accepted: 13.03.2026
Опубліковано / Published: 27.03.2026



Мороз О. С. [1; ORCID ID: 0000-0001-7265-4706] ,

к.с.-г.н., доцент,

Солодка Т. М. [1; ORCID ID: 0000-0002-0666-6626],

к.с.-г.н., доцент,

Опанасюк Д. В. [1; ORCID ID: 0009-0002-8543-669X]

студент

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ОБРІЗКИ ПЛОДОВИХ ДЕРЕВ НА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ШКІДНИКІВ ТА ХВОРОБ

В статті проаналізовано інформацію про засоби та сучасні підходи до обрізки плодкових дерев. Показані деякі засоби для обрізки. Описані сучасні методи та методики проведення обрізки плодкових дерев. Вказані правила та помилки при проведенні процедури обрізки плодкових дерев.

Наведено такі форми крон плодкових дерев, як чаша, веретено, шайба, або плоска крона. Наведені переваги форми крони шайба: доступність виконання робіт з плодовими насадженнями (обприскування, обрізання, збір плодів), зручний догляд за газоном (штамб більше 170 см дозволяє легко ходити під деревом проводячи покіс та інші операції на газоні), відсутність необхідності в зайвому обладнанні (драбини, подовжені штанги для оприскувачів, висоторізи), плодівий горизонт повністю освітлюється сонцем, що знижує розвиток грибкових хвороб та покращує якість врожаю, красивий та незвичайний вигляд території навколо дому. При виконанні зрізів однорічних пагонів слід пам'ятати такі основні правила: різати потрібно під кутом в 30–40 градусів до бруньки, – зріз має бути на 3–5 мм вище бруньки, – за допомогою відрізання частини гілки можна регулювати подальший ріст гілки обравши необхідну бруньку. Проаналізовано інформацію впливу обрізки плодкових дерев на стимулювання виділення летких органічних сполук, що приваблюють комах-фітофагів.

Крім цього, проаналізований вплив раціональної обрізки, який виступає елементом інтегрованої системи захисту, оскільки усуває первинні осередки розмноження, підвищує життєздатність дерев, обмежує просторове поширення шкідників. Рекомендовано під час зрізання гілок діаметром більше 3 см обробляти їх спеціальними замазками, щоб захистити їх від патогенів та простимулювати загоєння ран. Для оброблення зрізів не рекомендовано застосовувати: садовий вар,

фарби, лаки, технічні мастила та олії (відпрацьоване мастило, літол, солідол).

Ключові слова: плодові дерева; обрізка; крона; шкідники плодових; хвороби.

Постановка проблеми. Раніше зазвичай проводили обрізку плодових дерев в другій половині лютого – середині березня, коли дерево ще спало – до початку сокоруху, але вже не так холодно та сильних морозів вже не передбачалося. [1, С. 64]. Проте, температурні умови сучасних зим дозволяють починати проводити обрізку плодових в січні та продовжувати її аж до явних ознак початку сокоруху та розкриття бруньок.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Щодо допустимої температури обрізки плодових, то підходи також змінились: раніше вважалось, що в морози більше -5 градусів обрізати не можна, пояснюючи це тим, що частина гілки на зрізі замерзне та відіме. В сучасних умовах можна проводити обрізку за температури до -12 градусів, але є правила, яких слід дотримуватись: інструменти повинні бути гострі та добре відрегульовані, зрізи потрібно виконувати за правилами, місця зрізів обробляти замазками на натуральній олійній чи восковій основі. Варто пам'ятати і про те, що не всі дерева добре переносять обрізку в мороз. Персики, нектарини, деякі, переважно ранні, сорти абрикос та слив, екзотичні рослини (гранат, фінік, інжир та ін.) краще обрізати при температурі вище нуля в момент проведення робіт, і не пізніше як за три дні до морозів. [2, С. 150; 3, С. 100]. Якщо через декілька днів після обрізки чутливих дерев настане мороз – нічого страшного немає, рани встигнуть віддати зайву вологу і не змерзнуть. Щодо інших дерев, то їх можна сміливо обрізати в мороз до -12 (за деяких умов до -15), при сильніших морозах деревина втрачає свої фізичні властивості стає крихкою при роботі секатора та гілкоріза, рветься при різі пилкою утворюючи розтріпані волокна, такі різи висихають через розтріскування, важче загоюються, на них легше оселяються патогенні організми [4, С. 110; 5, С. 16].

Мета, завдання та методика досліджень – оволодіти сучасними методами та методиками обрізки плодових дерев.

У промислових садах зерняткові культури найчастіше формують крону веретеном (рис. 1), (центральный провідник до 3 метрів, від якого відходять короткі, до 50 см, скелетні гілки з невеликими розгалуженнями вкриті плодухами, на яких формується врожай).

Кісточкові зазвичай формують крону чашею (рис. 2), (від невеликого штамбу, на висоті 50–70 см відходять 4–6 скелетних гілок, які в міру їх старіння зрізають на заміщення для отримання постійного врожаю).

На прибудинкових ділянках зазвичай формують невисокі дерева, для зручної роботи з ними (проведення обприскування та обрізки, збору врожаю).

Сучасні потреби та стилі ландшафтного дизайну формують нові підходи до утворення форм крони дерев, в останні роки сформувався новий стиль форми крони плодових дерев, так звана шайба або плоска крона (рис. 3), що являє собою штамп 70–190 см, над яким

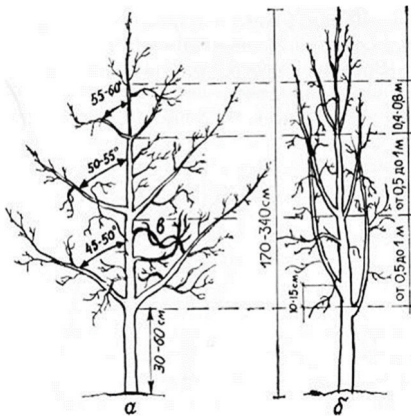


Рис. 1. Форма крони «Веретено»
Зерняткові (яблуна, груша, айва)

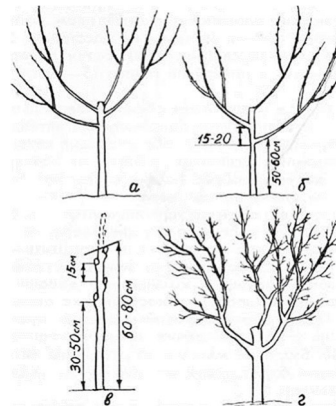


Рис. 2. Форма крони «Чаша»:
а) абрикос, б) слива, в) персик,
г) нектарин, вишня, черешня)



Рис. 3. Форма плоскої крони (шайба)

розташовується плодовий горизонт до 1 м шириною та 1,5 метра в радіусі, в якому розміщені горизонтальні скелетні гілки довжиною до 120 см, на яких є молоді гілки та плодухи.

Переваги форми крони шайба [5, С. 14]:

- доступність виконання робіт з плодовими насадженнями, (обприскування, обрізання, збір плодів);

- зручний догляд за газоном (штамб більше 170 см дозволяє легко ходити під деревом проводячи покос та інші операції на газоні);

- відсутність необхідності в зайвому обладнанні (драбини, подовжені штанги для оприскувачів, висоторізи);

- плодовий горизонт повністю освітлюється сонцем, що знижує розвиток грибкових хвороб та покращує якість врожаю;

- красивий та незвичайний вигляд території навколо дому.

При виконанні зрізів однорічних пагонів слід пам'ятати такі основні правила:

- різати потрібно під кутом в 30–40 градусів до бруньки;

- зріз має бути на 3–5 мм вище бруньки;

- за допомогою відрізання частини гілки можна регулювати подальший ріст гілки обравши необхідну бруньку.



Рис. 4. Форми обрізки «на бруньку» та «на кільце»

Різати на зовнішню бруньку не завжди є правильним рішенням, оскільки перші одна або дві гілки від місця різку будуть рости під великим кутом, що є не бажаним, а лише друга чи третя брунька дасть горизонтальну гілку. Тому в деревах з великою силою росту потрібно залишати одну або дві бруньки над бажаною (рис. 4). Наступного року потрібно провести різ на перевід на горизонтальну гілку. Така операція дозволяє стримувати вертикальний ріст сильнорослих молодих дерев та сформувати невисоку крону плодкових.

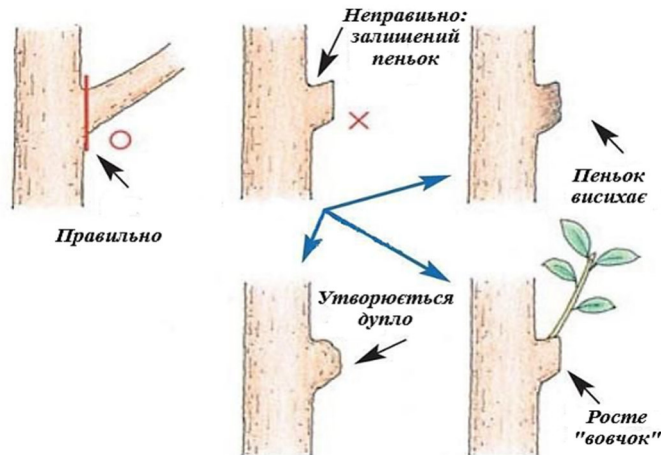


Рис. 5. Форми обрізування гілок на стовбурі

При різі на перевід слід відступати від розгалуження біля 3–5 мм. При зменшенні цієї відстані рана погано загоїться, погано відбуватиметься сокорух, що згодом призведе до всихання гілки (рис. 5). Та навпаки при залишенні великої частини гілки, вона може перешкоджати росту нижній гілці, врости в неї, що утворить рану, в якій накопичуватиметься зайва волога та з часом гілка може переламатися в ослабленому місці.

При зрізанні великих гілок краще користуватись ручною пилюю, ніж акумуляторною чи бензопилою. Тоді зріз буде гладеньким, без хвилястостей та рваних країв. Така рана краще та швидше заростатиме, на ній рідше розвиватимуться хвороби.

Під час зрізання гілок діаметром більше 3 см рекомендовано обробляти їх спеціальними замазками, щоб захистити їх від патогенів та простимулювати загоєння ран (рис. 6). Для оброблення зрізів не рекомендовано застосовувати садовий вар, фарби, лаки, технічні мастила та олії (відпрацьоване мастило, літол, солідол).

При застосуванні на свіжі зрізи дані речовини утворюють щільну плівку, котра не забезпечує рух зайвої вологи з місця зрізу, що спричиняє гниття гілки. Також ці речовини сповільнюють природне утворення камбію та затягування ран.



Рис. 6. Свіжі зрізи гілок: А – з утворенням плівки, Б – наслідки утворення плівки, В – Паста Potaben «Сі», Г – Садовий бальзам «Voks», Д – нанесення пасту Potaben «Сі», Е – нанесення бальзаму «Voks»

Обрізка дерев є невід'ємною складовою сучасних технологій вирощування плодкових і декоративних культур. Вона забезпечує формування раціональної архітектоники крони, оптимізацію світлового режиму, регулювання співвідношення вегетативного та генеративного росту, омолодження насаджень і підвищення врожайності. Проте будь-яке механічне втручання в структуру рослинного організму супроводжується порушенням цілісності покривних тканин і створенням ранових поверхонь, які можуть виконувати роль «воріт інфекції». За відсутності належних фітосанітарних заходів обрізка стає чинником поширення інфекційних хвороб і заселення шкідників, що негативно впливає на довговічність та продуктивність дерев.

Ефективність цих процесів залежить від фізіологічного стану дерева. Ослаблені рослини, які перебувають у стресових умовах (дефіцит вологи, надлишок азотного живлення, ураження шкідниками), мають знижену здатність до регенерації. У таких

випадках рани довше залишаються відкритими, що збільшує ризик проникнення патогенів. Важливу роль відіграє також діаметр зрізу: чим більша площа рани, тим повільніше відбувається її закриття та тим вищий ризик колонізації мікроорганізмами.

Грибні патогени є основною групою збудників, що проникають через свіжі зрізи. У плодових насадженнях поширеним є моніліоз, який викликає всихання пагонів і плодових гілочок. Інфекція часто розвивається навесні за умов підвищеної вологості та помірної температури. Спори гриба легко потрапляють на ранові поверхні й проростають у тканини камбію.

Не менш небезпечним є цитоспороз, що проявляється утворенням некротичних плям на корі та поступовим відмиранням гілок. Захворювання особливо інтенсивно розвивається на деревах із механічними пошкодженнями та морозобійними тріщинами, які додатково розширюють площу ураження.

У зерняткових і кісточкових культурах також спостерігається розвиток бактеріальний рак плодових, що поширюється через інфікований інструмент. Патоген проникає в судинну систему й спричиняє утворення виразок, камедетечу та загальне пригнічення рослини. В умовах інтенсивного садівництва механічна передача збудника під час обрізки є одним із ключових шляхів інфікування.

Крім зазначених хвороб, через великі рани можливе заселення деревини трутовими грибами, які викликають серцевинні гnilі. Руйнування лігніну та целюлози призводить до втрати механічної міцності стовбура, що підвищує ризик обламування гілок і вилягання дерев під час сильного вітру.

Обрізка, особливо інтенсивна, змінює фізіологічний стан дерева та може стимулювати виділення летких органічних сполук, що приваблюють комах-фітофагів.

Стовбурові шкідники першочергово заселяють ослаблені або пошкоджені рослини. Стовбурові шкідники є важливим компонентом фітосанітарного стану плодових і лісових насаджень. Їхня чисельність і динаміка популяції тісно пов'язані з фізіологічним станом дерев, наявністю механічних пошкоджень та умовами довкілля. Проведення або відсутність обрізки істотно впливає на привабливість рослин для заселення фітофагами та на інтенсивність їх розмноження.

До основних груп належать представники підродини короїди та родини вусачі. Їх об'єднує здатність заселяти ослаблені або

пошкоджені дерева, використовуючи кору й деревину як субстрат для розвитку личинок. Короїди зазвичай заселяють флоему та камбій, утворюючи ходи під корою. Вусачі відкладають яйця у тріщини кори або рани, а личинки проникають у ксилему, формуючи глибокі галереї. Обидві групи віддають перевагу рослинам зі зниженою стійкістю, де ослаблені захисні механізми (смоло- та камедевиділення, утворення фенольних сполук).

За повної відсутності обрізки в насадженні поступово накопичуються: сухі, відмерлі та ослаблені гілки; механічні пошкодження; ділянки з погіршеним провітрюванням крони. Такі умови створюють сприятливе середовище для формування локальних осередків шкідників. Ослаблені частини дерева виділяють леткі органічні сполуки (терпени, спирти), які виконують роль атрактантів для короїдів. Унаслідок цього можливе: зростання щільності популяції; формування стабільних вогнищ заселення; поступовий перехід шкідників із ослаблених гілок на здорові частини.

За відсутності санітарного втручання відбувається накопичення кормової бази, що підтримує репродуктивний потенціал популяції. У сприятливих умовах короїди можуть давати 2–3 генерації за сезон, що сприяє експоненційному зростанню чисельності. Вплив обрізки на популяцію має двоїстий характер і залежить від якості виконання робіт. За умови: видалення сухих та уражених гілок, своєчасного знищення рослинних решток, мінімізації площі ран, дотримання санітарних вимог.

Відбувається зменшення кормової бази для шкідників; ліквідація місць зимівлі; зниження щільності локальних популяцій; покращення фізіологічного стану дерева. Підвищення інсоляції та провітрювання крони знижує вологість мікроклімату, що погіршує умови розвитку личинок. У таких умовах спостерігається зменшення чисельності короїдів та вусачів у наступному сезоні.

Неправильна або надмірна обрізка у разі створення великих незахищених ран; проведення робіт у період активного льоту шкідників; залишення обрізаних гілок у саду; надмірного ослаблення крони можливий протилежний ефект.

Свіжі рани виділяють леткі речовини, що виконують роль сигналів для заселення. Ослаблені дерева втрачають здатність ефективно протидіяти проникненню комах. У таких умовах спостерігається різке локальне збільшення чисельності, формування первинних вогнищ заселення, перехід шкідників на сусідні дерева.

Особливо небезпечним є проведення інтенсивної омолоджувальної обрізки без подальшого агротехнічного супроводу.

Популяція стовбурових шкідників перебуває під впливом природних регуляторів – ентомофагів, паразитів, патогенних грибів. Надмірне ослаблення насаджень або створення великої кількості ранових поверхонь порушує екологічну рівновагу та сприяє переходу популяції з латентного стану до спалахового.

Раціональна обрізка виступає елементом інтегрованої системи захисту, оскільки усуває первинні осередки розмноження; підвищує життєздатність дерев; обмежує просторове поширення шкідників. Представники підродина короїди прогризають ходи під корою, порушуючи провідну систему та створюючи умови для вторинного грибного ураження. Їх масовий розвиток може призвести до повного всихання дерева. Представники підродина короїди є типовими стовбуровими шкідниками, здатними швидко змінювати чисельність залежно від фізіологічного стану дерев і умов середовища. Їхня популяційна динаміка безпосередньо пов'язана з наявністю ослаблених рослин, механічних пошкоджень та санітарним станом насаджень. Самки прогризають материнські ходи у флоемі та камбіальному шарі, де відкладають яйця. Личинки живляться лубом, порушуючи транспорт асимілянтів і води. Важливою особливістю є використання феромонної комунікації: первинне заселення одного дерева може швидко призвести до масової атаки через агрегаційні сигнали.

Популяційна динаміка без обрізки за відсутності обрізки в насадженні поступово накопичуються: сухі та напівсухі гілки; гілки з морозобійними тріщинами; уражені грибними інфекціями частини крони; загущені ділянки зі зниженою інсоляцією.

Такі умови формують постійну кормову базу для короїдів. Ослаблені тканини виділяють леткі органічні сполуки (етанол, терпени), що є атрактантами. Унаслідок цього зростає ймовірність первинного заселення, формується локальний осередок розмноження, відбувається перехід до масового заселення сусідніх дерев. Популяція може зростати поступово, але стабільно. У теплі роки можливе формування 2–3 поколінь за сезон, що призводить до геометричного зростання чисельності. Без санітарного втручання латентна популяція здатна перейти у фазу спалаху (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняльний аналіз

Показник	Без обрізки	Раціональна обрізка	Неправильна обрізка
Наявність кормової бази	Постійно зростає	Скорочується	Тимчасово збільшується
Осередки зимівлі	Зберігаються	Ліквідуються	Частково зберігаються
Імовірність спалаху	Поступово зростає	Низька	Висока
Стан дерев	Погіршується	Покращується	Різко погіршується

Вплив обрізки на короїдів має подвійний характер і залежить від її якості. За умови своєчасного видалення сухих і уражених гілок та їх знищення: ліквідуються осередки зимівлі; зменшується кількість субстрату для розвитку личинок; покращується освітлення і провітрювання крони; підвищується фізіологічна стійкість дерев. У результаті щільність популяції знижується або стабілізується. Дерева з активним сокорухом і високим тургором краще протистоять заселенню, оскільки смоло- або камедевиділення механічно перешкоджає проникненню жуків. Якщо обрізка проведена у період активного льоту короїдів, з утворенням великих незахищених ран, із залишенням зрізаних гілок у саду, із надмірним ослабленням крони, то можливе короточасне різке зростання чисельності.

Свіжі рани виділяють леткі речовини, що підсилюють агрегацію жуків. Ослаблене дерево знижує інтенсивність захисних реакцій. У таких умовах популяція може швидко перейти у фазу спалаху навіть за невеликої початкової чисельності.

Інтенсивна стимулююча обрізка викликає активний ріст молодих пагонів, які є привабливими для попелиць, кліщів і щитівок. Сисні шкідники виснажують рослину, знижують фотосинтетичну активність і погіршують закладання плодкових бруньок.

Строки проведення обрізки мають вирішальне значення для мінімізації фітосанітарних ризиків. Зимові обрізки у період відносного спокою рослин за низької вологості повітря зменшують ймовірність інфікування. Натомість обрізка в період активного сокоруху сприяє інтенсивному виділенню клітинного соку, який є живильним середовищем для патогенів.

Виконання робіт у дощову або туманну погоду створює оптимальні умови для проростання спор грибів. Крім того, підвищена

вологість уповільнює підсихання зрізів і формування захисної тканини. Негативний вплив має і різке зниження температури після обрізки, що може спричинити підмерзання відкритих тканин.

Ефективна профілактика передбачає комплексний підхід. По-перше, необхідно суворо дотримуватися техніки виконання зрізів – вони мають бути рівними, без розщеплення кори, виконаними під оптимальним кутом. По-друге, інструмент повинен регулярно дезінфікуватися для запобігання механічному перенесенню інфекції. По-третє, зрізи великого діаметра доцільно обробляти спеціальними захисними препаратами.

Важливим є також агротехнічний супровід: збалансоване мінеральне живлення, оптимальний водний режим, своєчасне видалення уражених гілок і санітарне очищення саду. У господарствах із високим інфекційним фоном рекомендовано проводити профілактичні фунгіцидні обробки після завершення обрізки.

Висновки. Отже, обрізка дерев як необхідний агротехнічний захід водночас створює передумови для розвитку інфекційних хвороб і заселення шкідників. Ранові поверхні є ключовим фактором ризику, а їхня площа, строки проведення робіт та дотримання санітарних вимог визначають рівень фітосанітарної безпеки насаджень. Лише науково обґрунтований підхід до організації обрізки, поєднаний із системою інтегрованого захисту рослин, дозволяє мінімізувати негативні наслідки та забезпечити стабільну продуктивність і довговічність деревних культур. Натомість рекомендовано змазувати місця зрізів спеціалізованими пастами на водній або натуральній восковій основі, деякі з них додатково мають в складі фунгіцид та стимулятори росту. Проте варто уважно дослідити склад таких препаратів та перевіряти їх дію на практиці.

1. Хоменко І. І., Хоменко І. Іг. Сади на вегетативних підщепах. *Зб. наук. праць*. Мліїв-Умань, 2000. С. 73–76. URL: <https://osvita.ua/vnz/reports/biolog/26313/> (дата звернення: 26.02.2026). 2. Слободяник Л. М. Господарсько-біологічні особливості інтродукованих сортів яблуні в інтенсивних насадженнях правобережного лісостепу України : дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.07. Умань, 2009. 209 с. URL: <https://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/21461.pdf>. (дата звернення: 26.02.2026). 3. Біологічні основи формування та обрізування плодкових дерев і ягідних кущів / І. К. Омельченко, В. М. Жук, О. А. Кіщак, О. М. Ярещенко, В. А. Соболю. Київ : Аграр. наука, 2014. 256 с. URL: https://sad-institut.com.ua/ua/proponuemo/knigi/kniga_-biologichni-osnovi-formuvannya-plodovih-.html (дата звернення: 26.02.2026). 4. Томас Недер. Правильне обрізання саду. Фруктові дерева, ягідні чагарники, виноград. 2018. 200 с. URL:

[https://soncesad.com/katalog/knigi/plodovi/zagalne/pravilne-obrizannya-sadu.-fruktovi-dereva,-yagidni-chagarniki,-vinograd-\(vkn-1185\).html](https://soncesad.com/katalog/knigi/plodovi/zagalne/pravilne-obrizannya-sadu.-fruktovi-dereva,-yagidni-chagarniki,-vinograd-(vkn-1185).html) (дата звернення: 26.02.2026). 5. Кутуза Д. М. Сучасні підходи при проведенні обрізки плодових дерев. *Студентський вісник НУВГП* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2025. С. 14–18. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/32780> (дата звернення: 26.02.2026).

REFERENCES:

1. Khomenko I. I., Khomenko I. I. Sady na vehetatyvnykh pidshchepak. *Zb. nauk. prats. Mliiv-Uman*, 2000. S. 73–76. URL: <https://osvita.ua/vnz/reports/biolog/26313/> (data zvernennia: 26.02.2026). 2. Slobodianyuk L. M. Hospodarsko-biologichni osoblyvosti introdokovanykh sortiv yabluni v intensyvnykh nasadzheniakh pravoberezhnoho lisostepu Ukrainy : dys. ... kand. s.-h. nauk : 06.01.07. Uman, 2009. 209 s. URL: <https://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/21461.pdf>. (data zvernennia: 26.02.2026). 3. Biologichni osnovy formuvannia ta obrizuvannia plodovykh derev i yahidnykh kushchiv / I. K. Omelchenko, V. M. Zhuk, O. A. Kishchak, O. M. Yareschenko, V. A. Sobol. Kyiv : Ahrar. nauka, 2014. 256 s. URL: https://sad-institut.com.ua/ua/proponuemo/knigi/kniga_-biologichni-osnovi-formuvannya-plodovih-.html (data zvernennia: 26.02.2026). 4. Tomas Neder. Pravylnе obrizannia sadu. Fruktovi dereva, yahidni chaharnyky, vynohrad. 2018. 200 s. URL: [https://soncesad.com/katalog/knigi/plodovi/zagalne/pravilne-obrizannya-sadu.-fruktovi-dereva,-yagidni-chagarniki,-vinograd-\(vkn-1185\).html](https://soncesad.com/katalog/knigi/plodovi/zagalne/pravilne-obrizannya-sadu.-fruktovi-dereva,-yagidni-chagarniki,-vinograd-(vkn-1185).html) (data zvernennia: 26.02.2026). 5. Kutuz D. M. Suchasni pidkhody pry provedenni obrizky plodovykh derev. *Studentskyi visnyk NUVHP* : zb. nauk. prats. Rivne : NUVHP, 2025. S. 14–18. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/32780> (data zvernennia: 26.02.2026).

Moroz O. S. [1; ORCID ID: 0000-0001-7265-4706]

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor,

Solodka T. M. [1; ORCID ID: 0000-0002-0666-6626],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor,

Opanasiuk D. V. [1; ORCID ID: 0009-0002-8543-669X]

Senior Student

¹*National University of Water and Environmental Engineering, Rivne*

ANALYSIS OF THE IMPACT OF PRUNING OF FRUIT TREES ON THE SPREAD OF PESTS AND DISEASES

The article analyzes information about the means and modern approaches to pruning fruit trees. Some pruning tools are shown. Modern methods and techniques for pruning fruit trees are described. Rules and errors when carrying out the pruning procedure for fruit trees are indicated.

The following crown shapes of fruit trees are given: "Bowl", "Spindle", "Puck", or flat crown. The advantages of the "Puck" crown shape are given: accessibility of work with fruit plantations (spraying, pruning, fruit collection),

convenient lawn care (a trunk of more than 170 cm allows you to easily walk under the tree while mowing and other operations on the lawn), no need for unnecessary equipment (ladders, extended sprayer rods, high-cutters), the fruit horizon is fully illuminated by the sun, which reduces the development of fungal diseases and improves the quality of the crop, a beautiful and unusual appearance of the area around the house. When making cuts of annual shoots, the following basic rules should be remembered: the cut should be made at an angle of 30–40 degrees to the bud, – the cut should be 3–5 mm above the bud, – by cutting off part of the branch, you can regulate the further growth of the branch by choosing the necessary bud. Information on the impact of pruning fruit trees on stimulating the release of volatile organic compounds that attract phytophagous insects was analyzed. In addition, the impact of rational pruning was analyzed, which acts as an element of an integrated protection system, since it: eliminates primary breeding sites; increases the viability of trees; limits the spatial spread of pests. It is recommended to treat branches with a diameter of more than 3 cm with special putties when cutting them to protect them from pathogens and stimulate wound healing. It is not recommended to use: garden var, paints, varnishes, technical lubricants and oils (waste oil, lithol, solid oil) for processing cuts.

Keywords: fruit trees; pruning; crown; fruit pests; diseases.

Отримано / Received: 02.03.2026
Прийнято до друку / Accepted: 14.03.2026
Опубліковано / Published: 27.03.2026



© 2026 [Moroz O. S., Solodka T. M., Opanasiuk D. V.]. Licensee (NUWEE). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org)

УДК 581.1;581.5

<https://doi.org/10.31713/vs1202613>

Морозова Т. В. [1; ORCID ID: 0000-0003-4836-1035],
к.б.н., доцент,
Бондар О. І. [1; ORCID ID: 0000-0002-4488-2282],
д.б.н., професор, академік НААН,
Присяжний В. І. [1; ORCID ID: 0000-0003-4836-1035],
к.т.н., професор

¹Державна наукова установа «Інститут екологічного відновлення та розвитку України»,
м. Київ

АДАПТАЦІЯ *ALLIUM SERA L.* ДО УМОВ ЗНИЖЕНОЇ ОСВІТЛЕНОСТІ

У статті узагальнено сучасні наукові дані та представлено результати експериментальних досліджень щодо впливу зниженої інтенсивності освітлення на морфологічні, анатомічні та фізіологічні показники *Allium sera L.* Показано, що дефіцит світла зумовлює перебудову ростових процесів, яка проявляється стимуляцією подовження надземної частини рослин за умов наднизької освітленості. Встановлено зменшення вмісту сухої речовини та зміну анатомічної структури листка, що проявляється у зниженні товщини мезофілу та параметрів продигового апарату. Виявлено пряму залежність інтенсивності фотосинтезу від рівня освітлення, тоді як інтенсивність дихання істотно не змінюється. Отримані результати узгоджуються із сучасними уявленнями про фотоморфогенез і адаптаційні реакції рослин. Практичне значення дослідження полягає в обґрунтуванні підходів до оптимізації умов вирощування овочевих культур за обмеженого освітлення.

Ключові слова: *Allium sera L.*; освітленість; фотосинтез; анатомічна адаптація; продихи; біомаса; фотоморфогенез.

Постановка проблеми. Світло є одним із ключових абіотичних чинників, що визначають інтенсивність росту, розвитку та продукційних процесів рослин, насамперед через регуляцію фотосинтетичної активності, морфогенезу та метаболізму. Відомо, що зміни рівня освітленості безпосередньо впливають на швидкість асиміляції вуглецю, енергетичний баланс і формування біомаси, а також визначають структурно-функціональну організацію фотосинтетичного апарату [1; 2]. У сучасних умовах антропогенно трансформованого середовища, зокрема внаслідок урбанізації, загушення агроценозів і кліматичних змін, відбувається зростання варіабельності світлового режиму, що обумовлює актуальність дослідження реакцій рослин на дефіцит освітлення.

Рослини характеризуються високим рівнем екологічної пластичності до умов освітлення, що проявляється у морфологічних, анатомічних і фізіологічних адаптаціях. За умов зниженої освітленості спостерігається перебудова листового апарату, зокрема зміни товщини мезофілу, співвідношення палисадної та губчастої паренхіми, щільності та розмірів продихів, а також перерозподіл асимілянтів між органами [3; 4]. Такі зміни спрямовані на оптимізацію використання світлової енергії, проте супроводжуються варіаціями продукційних процесів і накопичення органічної речовини.

Разом із тим встановлено, що реакції рослин на світловий чинник мають складний, багаторівневий і видоспецифічний характер, а їх прояв істотно залежить від стадії онтогенезу [5; 6]. Це ускладнює узагальнення результатів і потребує проведення досліджень, спрямованих на комплексну оцінку змін морфофункціональних показників рослин у динаміці розвитку.

Особливий інтерес у цьому контексті становить *Allium cepa L.* як модельний об'єкт, широко застосовуваний у фізіолого-біохімічних та екоотоксикологічних дослідженнях. Незважаючи на значну кількість наукових робіт, присвячених цьому виду, питання комплексного впливу різних рівнів освітленості на морфометричні, анатомічні та фізіологічні показники у ранньому онтогенезі залишаються недостатньо висвітленими.

Крім того, недостатньо дослідженими є питання фазової специфічності реакцій рослин на світловий дефіцит, співвідношення змін надземних і підземних органів, а також визначення порогових рівнів освітленості, за яких відбувається перехід від нейтральних до адаптивних або стресових реакцій. Це зумовлює необхідність поглибленого вивчення механізмів адаптації рослин до умов зниженої освітленості.

У зв'язку з цим актуальним є дослідження закономірностей росту, формування біомаси, анатомічної структури листка та фізіологічних процесів у *Allium cepa L.* за різних рівнів освітленості з метою встановлення комплексних механізмів адаптації рослин до світлового дефіциту.

Аналіз досліджень і публікацій. Світловий чинник розглядається як один із провідних регуляторів функціонування рослинних організмів, що реалізується через вплив на фотосинтетичний апарат, морфогенез і метаболічні процеси. Сучасні

дослідження свідчать, що інтенсивність і якість освітлення визначають рівень фотосинтетичної активності, транспірації, вміст фотосинтетичних пігментів і загальну продуктивність рослин [1; 2].

Класичні та сучасні роботи демонструють, що адаптація рослин до різних рівнів освітленості супроводжується структурною перебудовою листка. Зокрема, для умов затінення характерне зменшення товщини мезофілу, зміна співвідношення його шарів, а також трансформація продигового апарату [3; 4]. Такі зміни спрямовані на підвищення ефективності використання світла, проте можуть супроводжуватися зниженням інтенсивності фотосинтезу та продукційних показників.

У подальших дослідженнях встановлено, що фотосинтетична адаптація до освітлення має складний характер і включає як фізіологічні, так і біохімічні механізми, зокрема зміни активності фотосистем, вмісту пігментів та ефективності використання світлової енергії [5; 6]. Водночас реакції рослин значною мірою залежать від виду, умов вирощування та стадії розвитку.

У роботах, присвячених *Allium cepa L.*, показано, що світловий режим істотно впливає на ріст, фотосинтетичні процеси та біохімічні характеристики рослин. Зокрема, відзначено зміни пігментного складу, перебудову фотосистем і варіації морфологічних показників за різних умов освітлення [7]. Також встановлено, що як надмірна, так і недостатня освітленість може виступати стресовим чинником, що обмежує продукційні процеси.

Водночас значна частина досліджень зосереджена на агротехнологічних аспектах вирощування *Allium cepa L.*, включаючи вплив водного режиму, мінерального живлення та регуляторів росту на продуктивність. У таких роботах світловий чинник зазвичай розглядається як контрольований або фоновий, без детального аналізу його варіабельності та впливу на комплекс морфофункціональних показників.

Сучасні підходи до дослідження реакцій рослин передбачають інтеграцію морфометричних, анатомічних і фізіолого-біохімічних методів, що дає змогу більш повно охарактеризувати адаптаційні процеси. Встановлено, що окремі ознаки у *Allium cepa L.* мають різну чутливість до екологічних чинників, що свідчить про наявність як стабільних, так і варіабельних компонентів фенотипу.

Незважаючи на значну кількість досліджень, аналіз літератури свідчить про їх фрагментарний характер. Більшість робіт зосереджена на окремих процесах або показниках, тоді як комплексні дослідження, що поєднують морфометричні, анатомічні та фізіологічні

характеристики у відповідь на зміну освітленості, залишаються обмеженими. Крім того, недостатньо висвітлено фазову специфічність реакцій рослин у ранньому онтогенезі та не визначено чіткі порогові рівні освітленості, що обумовлює необхідність подальших досліджень у цьому напрямі.

Мета, завдання та методики проведення досліджень. Метою роботи є встановлення закономірностей росту, формування біомаси, анатомічної структури листка та фізіологічних процесів у *Allium cepa L.* за різних рівнів освітленості з метою виявлення механізмів адаптації рослин до умов світлового дефіциту.

Для досягнення поставленої мети передбачено такі завдання: оцінити динаміку росту надземної та підземної частин рослин; проаналізувати зміни морфометричних показників і біомаси; дослідити анатомічні особливості листкового апарату; визначити особливості фізіологічних процесів (фотосинтезу та дихання) залежно від інтенсивності освітлення.

Дослідження проводили у динаміці росту рослин *Allium cepa L.* на 5-у, 10-у, 15-у та 20-у добу за різної інтенсивності освітлення. Рівень освітленості контролювали за допомогою люксметра Ю-116.

Морфометричні показники (довжина кореня, висота рослин, сира та суха біомаса) визначали за загальноприйнятими методиками. Анатомічні дослідження включали визначення товщини епідермісу, кількості клітин, а також кількісних і розмірних характеристик продигового апарату з використанням мікроскопа ЛОМО «Мікмед» ($\times 180$).

Фізіологічний стан рослин оцінювали за показниками інтенсивності фотосинтезу та дихання.

Статистичну обробку результатів виконували із застосуванням пакета Microsoft Excel (версія 2003). Експериментальні дані подано у вигляді середнього значення та стандартної похибки ($M \pm m$, $n \geq 3$). Вплив інтенсивності освітлення оцінювали методом однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) з подальшим застосуванням критерію Тьюкі. Різницю між варіантами вважали статистично значущою при $p < 0,05$.

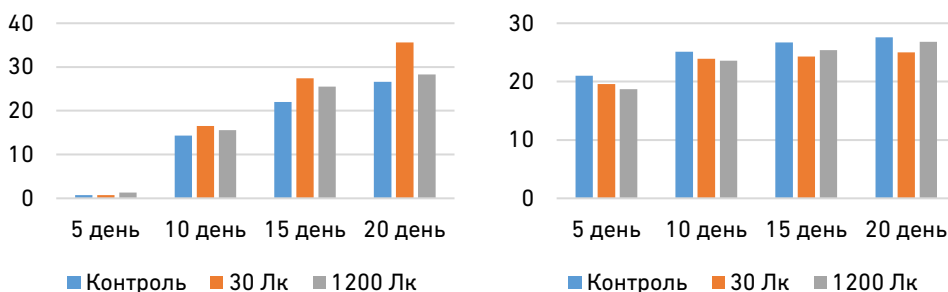
Виклад основного матеріалу дослідження

Вплив інтенсивності освітлення на ріст надземної частини Allium cepa L. Світло є визначальним чинником, що регулює інтенсивність

фотосинтезу та, відповідно, накопичення біомаси рослин [8; 9]. Зміни інтенсивності освітлення здатні модифікувати як швидкість росту, так і морфогенетичні процеси *Allium cepa* L. [10]. Показано, що дефіцит світла може змінювати характер ростових реакцій на різних етапах онтогенезу [11]. За результатами дослідження (рис. 1, А) встановлено, що на ранніх етапах розвитку (5 та 10 доба) статистично значущих відмінностей між варіантами не виявлено (ANOVA, $p > 0,05$). Висота рослин у цей період варіювала в межах 14,3–16,6 см незалежно від рівня освітленості.

На пізніших етапах розвитку (15 та 20 доба) зафіксовано достовірне збільшення висоти рослин у варіанті з найнижчою інтенсивністю освітлення (27–30 лк) порівняно з контролем (ANOVA, $p < 0,05$). Це свідчить про активацію ростових процесів за умов світлового дефіциту.

Отримані результати узгоджуються з уявленнями про фотоморфогенез, згідно з якими зниження освітленості стимулює подовження клітин і витягування пагонів як адаптивну реакцію на затінення. Подібні ефекти описані у сучасних дослідженнях, де показано активацію механізмів типу *shade avoidance syndrome* за умов дефіциту світла.



А) динаміка росту

Б) кількість корінців

Рис. 1. Ріст та формування кореневої системи *Allium cepa* L. за різної інтенсивності освітлення

Ймовірно, в основі виявлених змін лежить перебудова гормонального балансу, зокрема підвищення рівня ауксинів, що стимулюють клітинне розтягнення. Водночас стимуляція росту надземної частини не супроводжується пропорційним збільшенням біомаси, що свідчить про компенсаторний характер цієї адаптації.

Вплив освітлення на формування кореневої системи *Allium cepa* L. Аналіз показників розвитку кореневої системи (рис. 1, Б) засвідчив відсутність статистично значущого впливу інтенсивності освітлення на

кількість коренів (ANOVA, $p > 0,05$). На 5 добу цей показник становив 18,7–21,0 шт., у подальшому спостерігалось поступове його збільшення: на 10, 15 та 20 добу – в середньому на 1–2 корені.

Отримані результати свідчать про відносну стабільність формування кореневої системи за умов зміненої освітленості. Це узгоджується з літературними даними, відповідно до яких коренева система є менш чутливою до світлового чинника порівняно з надземною частиною, оскільки її розвиток значною мірою визначається внутрішніми регуляторними механізмами та ресурсним забезпеченням рослин.

Отримані результати свідчать про диференційований характер реакції *Allium cepa L.* на зміну інтенсивності освітлення. З одного боку, за умов світлового дефіциту спостерігається стимуляція росту надземної частини, з іншого – відсутність істотних змін у формуванні кореневої системи.

Виявлені особливості можуть бути пояснені реалізацією адаптивної стратегії, спрямованої на максимізацію доступу до світла шляхом подовження пагонів. Подібні механізми описані в сучасних дослідженнях фотоморфогенезу, де підкреслюється роль світла як сигнального чинника, що визначає архітектуру рослинного організму. Водночас надмірне витягування рослин за умов низької освітленості може супроводжуватися зниженням їх функціональної стійкості, що має принципове значення для оцінки продуктивності та якості рослинної продукції.

Загалом отримані результати підтверджують, що інтенсивність освітлення є критичним чинником, який визначає співвідношення між ростовими та метаболічними процесами у *Allium cepa L.*, а також формує адаптивні відповіді рослин на зміну умов середовища.

Накопичення сирої та сухої біомаси Allium cepa L. за різної освітленості. Проведені дослідження показали, що інтенсивність освітлення не впливала на сиру біомасу надземної частини: її значення варіювали в межах 2,16–2,68 г без статистично значущих відмінностей між варіантами (ANOVA, $p > 0,05$) (рис. 2). Водночас для підземної частини встановлено достовірні відмінності у варіанті з найнижчою освітленістю (27–30 лк) порівняно з контролем ($p < 0,05$), що свідчить про перерозподіл асимілятів між органами в умовах світлового дефіциту.

Аналіз вмісту сухої речовини (рис. 2) засвідчив її зниження у рослин за помірно зниженої інтенсивності освітлення (1120–1200 лк) ($p < 0,05$). Така тенденція узгоджується з даними, відповідно до яких дефіцит світла обмежує фотосинтетичну продукцію та накопичення структурних вуглеводів і сухої маси [6; 12].

Таким чином, наднизька освітленість (27–30 лк) стимулює ріст надземної частини переважно за рахунок подовження органів, тоді як помірне зниження освітленості супроводжується зменшенням частки сухої речовини, що відображає пригнічення продукційних процесів.

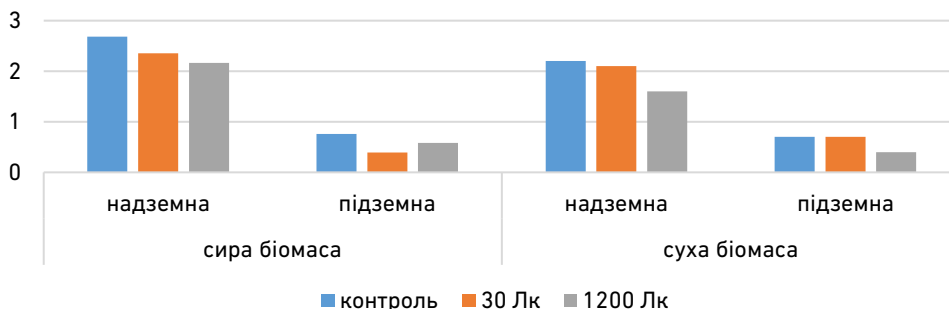


Рис. 2. Біомаса проростків *Allium cepa L.*

Анатомічна адаптація Allium cepa L. до зниженої інтенсивності світла. Світловий режим є визначальним чинником формування анатомічної структури листка. Відомо, що за умов затінення мезофіл спрощується, а частка палисадної (стовпчастої) паренхіми зменшується [11]. У проведеному дослідженні встановлено, що в контрольних умовах товщина стовпчастої паренхіми перевищувала товщину губчастої приблизно у 1,5 рази (рис. 3, А). За умов наднизької освітленості (27–30 лк) спостерігалось достовірне зменшення товщини стовпчастої паренхіми протягом усього періоду дослідження ($p < 0,05$), тоді як за помірно зниженої освітленості (1120–1200 лк) цей показник залишався близьким до контрольного.

Подібна тенденція встановлена і для губчастої паренхіми (рис. 3, Б): починаючи з 10 доби, її товщина зменшувалася у варіанті 27–30 лк ($p < 0,05$), а на 15–20 добу також за 1120–1200 лк. Це свідчить про загальне зменшення об'єму асиміляційної тканини в умовах світлового дефіциту.

Світло також істотно впливає на формування та функціонування продихового апарату. Встановлено (рис. 3), що зниження інтенсивності освітлення супроводжується достовірним зменшенням кількості продихів (майже вдвічі) та їх розмірів ($p < 0,05$). Зменшення довжини продихової щілини відзначалося протягом усього

експерименту за умов 27–30 лк, тоді як за 1120–1200 лк — переважно на пізніших етапах розвитку.

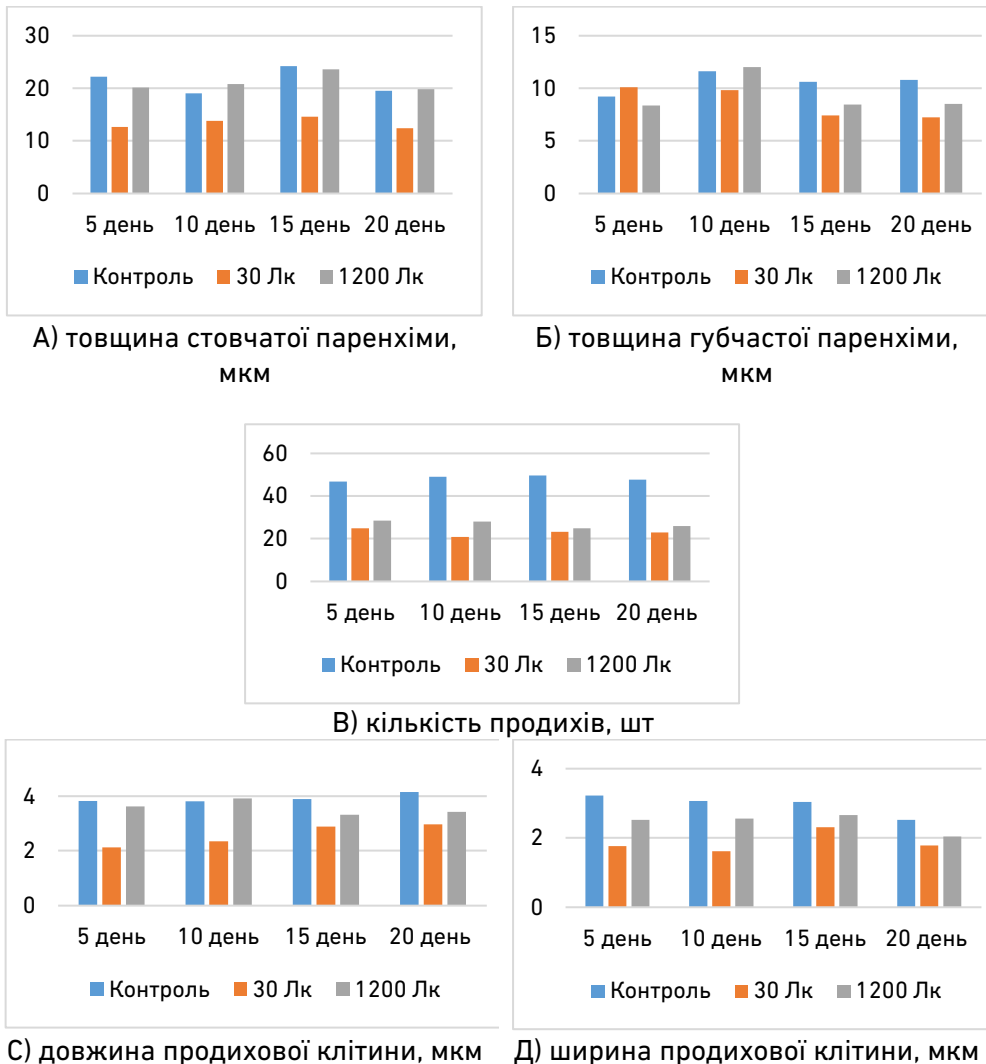


Рис. 3. Морфо-анатомічні показники листка *Allium cepa L.* за різної інтенсивності освітлення

Виявлені зміни узгоджуються із сучасними уявленнями про регуляцію газообміну, згідно з якими освітлення контролює як відкривання продохів, так і їх щільність, впливаючи на транспірацію та фотосинтетичні процеси [13; 14]. Зменшення кількості та розмірів продохів у затінених умовах розглядається як адаптивна реакція,

спрямована на оптимізацію водного режиму та зменшення втрат вологи.

Таким чином, анатомічні зміни *Allium sera L.* за умов зниженої освітленості характеризуються зменшенням товщини мезофілу та параметрів продигового апарату, що відображає адаптаційну перебудову листового апарату в умовах дефіциту світлової енергії.

Фізіологічна адаптація Allium sera L. до умов зниженої освітленості. Дихання є базовим енергетичним процесом, тісно пов'язаним із фотосинтезом через обмін субстратами та енергетичними еквівалентами. Незважаючи на складність їх розмежування в умовах освітлення, встановлено, що світло може модифікувати інтенсивність дихання, зокрема через регуляцію ферментативної активності та процесів фотодихання [15].

У проведеному дослідженні не виявлено статистично значущого впливу інтенсивності освітлення на показники дихання *Allium sera L.* упродовж 5–20 доби (ANOVA, $p > 0,05$): значення коливалися в межах 6,5–7,5 мг $\text{CO}_2/\text{г}\cdot\text{год}$. Отримані результати свідчать про відносну стабільність дихальних процесів на ранніх етапах онтогенезу, що може бути зумовлено їх базовою роллю у забезпеченні клітинного метаболізму незалежно від варіацій світлового режиму (рис. 4).

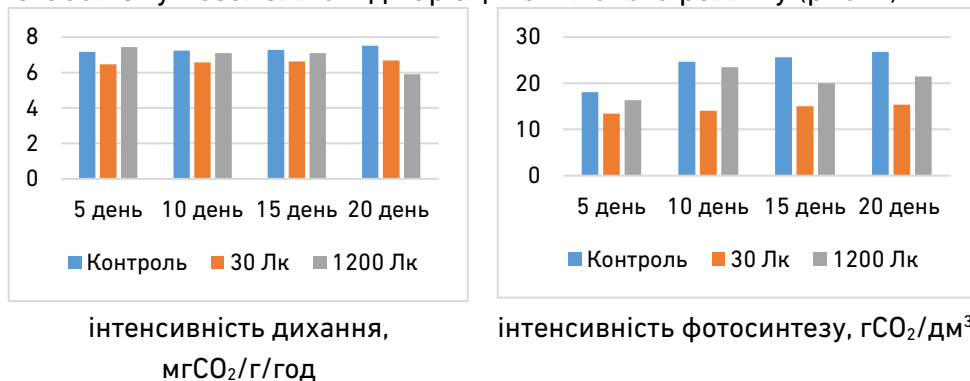


Рис. 4. Показники газообміну (інтенсивність фотосинтезу та дихання) *Allium sera L.* за зниженої інтенсивності освітлення

Водночас інтенсивність фотосинтезу прямо залежала від рівня освітлення ($p < 0,05$), що узгоджується з класичними уявленнями про світлову криву фотосинтезу: за умов низької освітленості фотосинтетична активність обмежується кількістю доступної енергії, що надходить до фотосистем [1; 12].

Співставлення отриманих результатів свідчить, що за умов світлового дефіциту у *Allium sera L.* формується дисбаланс між процесами асиміляції та енергетичного забезпечення: зниження

інтенсивності фотосинтезу за відносної стабільності дихання може призводити до обмеження накопичення органічної речовини та зниження продукційної ефективності.

Таким чином, фізіологічна адаптація *Allium cepa* L. до умов зниженої освітленості реалізується переважно через регуляцію фотосинтетичної активності та пов'язаних із нею морфогенетичних процесів, тоді як інтенсивність дихання характеризується відносною стабільністю на ранніх етапах розвитку.

Висновки. Встановлено диференційований вплив освітленості на ріст *Allium cepa* L.: на ранніх етапах онтогенезу зміни не є достовірними, тоді як у подальшому за умов наднизької освітленості відмічено стимуляцію росту надземної частини ($p < 0,05$). Показано, що сира біомаса надземних органів залишається стабільною незалежно від світлового режиму, тоді як підземна частина та вміст сухої речовини реагують на зниження освітленості достовірними змінами ($p < 0,05$), що свідчить про перерозподіл ресурсів між органами рослини. Виявлено адаптивну перебудову анатомічної структури листка (зменшення товщини мезофілу та параметрів продихового апарату; $p < 0,05$), що відображає оптимізацію функціонування фотосинтетичного апарату в умовах світлового дефіциту. Підтверджено залежність інтенсивності фотосинтезу від рівня освітленості ($p < 0,05$) за відсутності істотних змін дихання та розвитку кореневої системи на початкових етапах, що вказує на різну чутливість фізіологічних процесів до світлового чинника. Адаптація *Allium cepa* L. до зниженої освітленості реалізується через узгоджену зміну морфометричних, анатомічних і фізіологічних показників із домінуванням надземних реакцій; встановлено фазову специфічність відповіді (відсутність ефекту на ранніх етапах і його прояв у подальшому), що уточнює механізми світлової адаптації виду.

1. Taiz L., Zeiger E., Møller I. M., Murphy A. Plant physiology and development. 6th ed. Sunderland : Sinauer Associates, 2015. 2. Lambers H., Chapin F. S. III, Pons T. L. Plant physiological ecology. 2nd ed. New York : Springer, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-78341-3> 3. Boardman N. K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 1977. Vol. 28. P. 355–377. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.28.060177.002035> 4. Givnish T. J. Adaptation to sun and shade: A whole-plant perspective. *Functional Plant Biology*. 1988. Vol. 15, No. 2. P. 63–92. DOI: <https://doi.org/10.1071/PP9880063> 5. Evans J. R., Poorter H. Photosynthetic acclimation to growth irradiance: The relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. *Plant, Cell & Environment*.

2001. Vol. 24, No. 8. P. 755–767. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00724.x>
6. Poorter H., Niinemets Ü., Poorter L., Wright I. J., Villar R. A meta-analysis of plant responses to light intensity for 70 traits ranging from molecules to whole plant performance. *New Phytologist*. 2019. Vol. 223, No. 3. P. 1073–1105. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.15754>
7. Folta K. M., Maruhnich S. A. Green light: A signal to slow down or stop. *Journal of Experimental Botany*. 2007. Vol. 58, No. 12. P. 3099–3111. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erm130>
8. Mitache M., Baidani A., Bencharki B., Idrissi O. Exploring the impact of light intensity under speed breeding conditions on the development and growth of lentil and chickpea. *Plant Methods*. 2024. Vol. 20. Art. 30. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13007-024-01156-9>
9. Bertaud D. S. Photoperiod and temperature affect sprouting of onion bulbs (*Allium cepa* L.). *Annals of Botany*. 1990. Vol. 66, No. 2. P. 179–181. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a088013>
10. Manoharan R. K., Han J. S. H., Vijayakumar H., Subramani B., Thamilarasan S. K., Park J.-I., Nou I.-S. Molecular and functional characterization of FLOWERING LOCUS T homologs in *Allium cepa*. *Molecules*. 2016. Vol. 21, No. 2. P. 217. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules21020217>
11. Renard H. A. Influences of light on the germination and first growth in two vegetable species: *Allium cepa* and *Raphanus sativus*. *Acta Horticulturae*. 1989. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1989.253.20>
12. Evans J. R. Improving photosynthesis. *Plant Physiology*. 2013. Vol. 162, No. 4. P. 1780–1793. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.113.21900>
13. Lawson T., Blatt M. R. Stomatal size, speed, and responsiveness impact on photosynthesis and water use efficiency. *Plant Physiology*. 2014. Vol. 164, No. 4. P. 1556–1570. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.114.237107>
14. Kim T.-H., Böhmer M., Hu H., Nishimura N., Schroeder J. I. Guard cell signal transduction network: Advances in understanding abscisic acid, CO₂, and Ca²⁺ signaling. *Annual Review of Plant Biology*. 2010. Vol. 61. P. 561–591. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112226>
15. Atkin O. K., Tjoelker M. G. Thermal acclimation of plant respiration. *Trends in Plant Science*. 2003. Vol. 8, No. 7. P. 343–351. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(03\)00136-5](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(03)00136-5)

REFERENCE:

1. Taiz L., Zeiger E., Møller I. M., Murphy A. Plant physiology and development. 6th ed. Sunderland : Sinauer Associates, 2015. **2.** Lambers H., Chapin F. S. III, Pons T. L. Plant physiological ecology. 2nd ed. New York : Springer, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-78341-3> **3.** Boardman N. K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 1977. Vol. 28. P. 355–377. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.28.060177.002035> **4.** Givnish T. J. Adaptation to sun and shade: A whole-plant perspective. *Functional Plant Biology*. 1988. Vol. 15, No. 2. P. 63–92. DOI: <https://doi.org/10.1071/PP9880063> **5.** Evans J. R., Poorter H. Photosynthetic acclimation to growth irradiance: The relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. *Plant, Cell & Environment*. 2001. Vol. 24, No. 8. P. 755–767. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00724.x>
6. Poorter H., Niinemets Ü., Poorter L., Wright I. J., Villar R. A meta-analysis of plant responses to light intensity for 70 traits ranging from molecules to whole plant performance. *New Phytologist*. 2019. Vol. 223, No. 3. P. 1073–1105. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.15754>
7. Folta K. M., Maruhnich S. A. Green light: A signal to slow down or stop. *Journal of Experimental Botany*. 2007. Vol. 58, No. 12. P. 3099–3111. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erm130>
8. Mitache M., Baidani A., Bencharki B., Idrissi O. Exploring the impact of light intensity under speed breeding conditions on the

development and growth of lentil and chickpea. *Plant Methods*. 2024. Vol. 20. Art. 30. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13007-024-01156-9> **9.** Bertaud D. S. Photoperiod and temperature affect sprouting of onion bulbs (*Allium cepa* L.). *Annals of Botany*. 1990. Vol. 66, No. 2. P. 179–181. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a088013> **10.** Manoharan R. K., Han J. S. H., Vijayakumar H., Subramani B., Thamilarasan S. K., Park J.-I., Nou I.-S. Molecular and functional characterization of FLOWERING LOCUS T homologs in *Allium cepa*. *Molecules*. 2016. Vol. 21, No. 2. P. 217. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules21020217> **11.** Renard H. A. Influences of light on the germination and first growth in two vegetable species: *Allium cepa* and *Raphanus sativus*. *Acta Horticulturae*. 1989. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1989.253.20> **12.** Evans J. R. Improving photosynthesis. *Plant Physiology*. 2013. Vol. 162, No. 4. P. 1780–1793. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.113.21900> **13.** Lawson T., Blatt M. R. Stomatal size, speed, and responsiveness impact on photosynthesis and water use efficiency. *Plant Physiology*. 2014. Vol. 164, No. 4. P. 1556–1570. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.114.237107> **14.** Kim T.-H., Böhmer M., Hu H., Nishimura N., Schroeder J. I. Guard cell signal transduction network: Advances in understanding abscisic acid, CO₂, and Ca²⁺ signaling. *Annual Review of Plant Biology*. 2010. Vol. 61. P. 561–591. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112226> **15.** Atkin O. K., Tjoelker M. G. Thermal acclimation of plant respiration. *Trends in Plant Science*. 2003. Vol. 8, No. 7. P. 343–351. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(03\)00136-5](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(03)00136-5)

Morozova T. V. [1; ORCID ID: 0000-0003-4836-1035],

Candidate of Biological Sciences (Ph.D.), Associate Professor

Bondar O. I. [1; ORCID ID: 0000-0002-4488-2282],

Doctor of Biological Sciences, Professor, Full Member (Academician) of
the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine,

Prysiashnyi V. I. [1; ORCID ID: 0000-0003-4836-1035],

Candidate of Engineering (Ph.D.), Professor

¹*State Scientific Institution "Institute of Environmental Restoration and Development of Ukraine", Kyiv, Ukraine*

ADAPTATION OF *ALLIUM CEPA* L. TO CONDITIONS OF REDUCED LIGHT INTENSITY

This study summarizes current scientific knowledge and presents experimental results on the effects of reduced light intensity on morphological, anatomical, and physiological traits of *Allium cepa* L.. Particular attention is given to the integrated response of plants at early ontogenetic stages under conditions of light deficiency. The experiment was conducted under controlled light regimes, and plant development was assessed dynamically over time.

The results demonstrate that reduced light availability induces a restructuring of growth processes. Under extremely low light intensity, a significant stimulation of shoot elongation was observed, indicating the activation of adaptive mechanisms aimed at maximizing light capture. At the same time, biomass accumulation patterns were altered: although fresh biomass of the aboveground part remained relatively stable, a decrease in dry matter content was detected, reflecting limitations in photosynthetic productivity.

Anatomical analysis revealed pronounced structural modifications of leaf tissues. In particular, a reduction in mesophyll thickness, including both palisade and spongy parenchyma, was observed, along with significant changes in stomatal characteristics, such as decreased density and size. These alterations indicate a functional adjustment of the photosynthetic apparatus and gas exchange system under limited light conditions.

Physiological measurements confirmed a direct dependence of photosynthetic intensity on light level, consistent with the classical light-response curve of photosynthesis. In contrast, respiration rates remained relatively stable across treatments, suggesting a lower sensitivity of respiratory processes to variations in light intensity during early developmental stages.

Overall, the obtained results are consistent with modern concepts of photomorphogenesis and plant adaptive responses to environmental stressors. The findings highlight the coordinated nature of morphological, anatomical, and physiological adjustments in response to light limitation. The practical significance of this study lies in substantiating approaches for optimizing the cultivation conditions of vegetable crops under reduced light availability, particularly in controlled environments and dense agroecosystems.

Keywords: *Allium cepa* L.; light intensity; photosynthesis; anatomical adaptation; stomata; biomass; photomorphogenesis.

Отримано / Received: 13.03.2026

Прийнято до друку / Accepted: 20.03.2026

Опубліковано / Published: 27.03.2026



© 2026 [Morozova T. V., Bondar O. I., Prysiaznyi V. I.]. Licensee {NUWEE}. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org)

УДК 633.11;631.81;631.51;631.432 <https://doi.org/10.31713/vs1202614>

Польовий В. М. [1; ORCID ID: 0000-0002-3133-9803],
д.с.-г.н., професор, академік НААН,
Фурманець М. Г. [1; ORCID ID: 0000-0002-3091-4036],
К.С.-Г.Н., С.Н.С.,
Фурманець Ю. С. [1; ORCID ID: 0000-0003-4921-4889],
К.С.-Г.Н., С.Н.С.

¹Інститут сільського господарства Західного Полісся, с. Шубків

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВОЛОГИ ПШЕНИЦЕЮ ОЗИМОЮ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ОБРОБІТКІВ ҐРУНТУ І ВИКОРИСТАННЯ НА УДОБРЕННЯ ПОБІЧНОЇ ВЕГЕТАТИВНОЇ МАСИ У ЗАХІДНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Висвітлені результати досліджень з вивчення впливу способів обробітку ґрунту і використання побічної продукції культур сівозміни на врожайність і водоспоживання пшениці озимої, проведених у стаціонарному польовому досліді в умовах Західного Лісостепу України.

Встановлено, що в середньому за 2021–2023 роки застосування побічної продукції культур сівозміни без компенсаційного азоту на фонах обробітку ґрунту: оранка на 20–22 см, дискування на 15–17 см і дискування на 10–12 см, забезпечило підвищення врожайності зерна відповідно на 2,1; 2,8 і 2,7%, а у комплексі з азотом – відповідно на 5,6; 6,0 і 7,9% порівняно з її з відчуженням з поля. Залежно від способів використання нетоварної фітомаси врожайність пшениці озимої за оранки на 10–12 см, дискування на 15–17 і дискування на 10–12 см становила відповідно 7,00–7,39; 6,87–7,28 і 6,32–6,82 т/га, тобто зі зменшенням глибини обробітку ґрунту знижувалась. У середньому за роки досліджень сумарні витрати вологи за період весняне відновлення вегетації – повна стиглість в розрізі варіантів варіювали в межах 356–369 мм (3,6%), тобто способи обробітку ґрунту та використання побічної продукції не мали істотного впливу на цей показник. Коефіцієнт водоспоживання насамперед залежав від врожайності і тому залежно від способів використання побічної продукції цей коефіцієнт був найнижчим – 49–51 мм/т і 50–52 мм/т – відповідно за дискування ґрунту на 15–17 см і оранки на 20–22 см. Найвище значення коефіцієнта водоспоживання – 53–56 мм/т було отримано за дискування ґрунту на 10–12 см, що обумовлено значно нижчою врожайністю пшениці озимої порівняно з іншими основними обробітками.

Ключові слова: азот; удобрення; пшениця озима; урожайність; солома; водоспоживання; глибина обробітку ґрунту.

Постановка проблеми. Зростання застосування хімічних засобів захисту рослин, високопродуктивної досконалої техніки для безполицевого обробітку ґрунту та спеціальних сівалок істотно знижує функції механічного обробітку і створює передумови для його мінімалізації. До цього також спонукає постійне здорожчання пального для техніки.

Мінімалізація обробітку ґрунту рекомендується як дієвий спосіб запобігання його ерозії, покращення показників родючості та зменшення енерговитрат на вирощування сільськогосподарських культур [1–6].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У Західному Лісостепу оранка традиційно була найпоширенішим способом обробітку ґрунту, хоча під зернові культури після зернобобових і просапних попередників її рекомендувалося замінювати поверхневим обробітком [7; 8]. Проте за останні 10–15 років у зв'язку з глобальним потеплінням і в зоні Західного Лісостепу у літні місяці та вересні дедалі частіше спостерігається періодична відсутність запасів продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту, що спонукає до переходу на вологоощадні системи обробітку ґрунту [9]. Волога істотно впливає на найважливіші процеси в ґрунті, зокрема на його поживний, повітряний і тепловий режими, а також на біологічні властивості [10]. Дискуванню порівняно зі звичайною оранкою на чорноземах типових сприяє збільшенню ґрунтових запасів вологи на 80–320 м³ на 1 га ріллі [11; 12]. Центило Л. В. [13] вказує, що за проведення мілкового безполицевого обробітку запаси доступної вологи на 6–8% вищі, ніж за полицевого обробітку. Проте результати інших досліджень вказують, що глибокий обробіток забезпечує кращі умови для проникнення вологи у глибокі шари ґрунту, розвитку кореневої системи і використання елементів зольного та азотного живлення рослин [14].

Важливою складовою сучасних систем удобрення є використання на удобрення побічної продукції сільськогосподарських культур, але її ефективність у значній мірі залежить від застосування компенсаційного азоту для зменшення співвідношення C:N, ступеня подрібнення, рівномірності розподілу по поверхні поля, способу заробляння у ґрунт [15; 16]. За порушення технології її застосування може відбуватись істотне підкислення та дегуміфікація малобуферних

ґрунтів, накопичення токсичних для рослин сполук, що призводить до зниження врожайності [17; 18; 19].

Мета, завдання та методика досліджень. Метою наших досліджень було визначити вплив способів обробітку ґрунту та використання побічної продукції на вміст вологи у ґрунті, водоспоживання посівів і врожайність пшениці озимої.

Дослідження проводилися впродовж 2021–2023 рр. у стаціонарному польовому досліді Інституту сільського господарства Західного Полісся НААН. Чергування культур у сівозміні: пшениця озима – соняшник – кукурудза на зерно – соя. Площа облікової ділянки – 50 м², повторність – триразова.

Схема досліді передбачала вивчення 3-х варіантів використання побічної продукції культур сівозміни – відчуження, використання для удобрення без компенсаційного азоту та з унесенням компенсаційного азоту в дозі N₇ на 1 т на фоні 3-х обробітків ґрунту – оранки, дискового на 15-17 см і дискового на 10–12 см.

Ґрунт дослідної ділянки – темно-сірий опідзолений легкосуглинковий з вмістом гумусу 1,93%, легкогідролізованого азоту (за Корнфілдом) 99 мг/кг, рухомих форм фосфору і калію (за Кірсановим) відповідно 238 і 85 мг/кг. Мінеральні добрива під пшеницю озиму вносили в дозі N₁₇₀P₆₀K₉₀.

Сумарне водоспоживання та коефіцієнт водоспоживання визначали згідно з Методичними рекомендаціями [20].

Урожайність пшениці озимої встановлювали зважуванням зерна з облікових ділянок з наступним перерахунком на 1 га, здійснювали математичну обробку даних [21].

Результати досліджень та обговорення. Отримані дані досліджень свідчать, що пшениця озима істотно реагує на обробітки ґрунту та зароблення в ґрунт побічної продукції культур сівозміни. Заміна оранки на дискування супроводжувалася зниженням урожайності.

За результатами проведених досліджень було встановлено, що за використання на удобрення побічної продукції культур сівозміни без застосування компенсаційного азоту врожайність пшениці озимої в середньому за 2021–2023 роки за оранки, дискування на 15–17 см та дискування на 10–12 см зросли відповідно на 0,15; 0,19 і 0,17 т/га порівняно з варіантами з її відчуженнями з поля, де врожайність

становила відповідно на 7,00; 6,87 і 6,32 т/га (див. табл. 1). Внесення разом із нетоварною біомасою компенсаційного азоту в розрахунку N₇ на 1 га сівозміни сприяло більш суттєвому збільшенню приростів врожайності зерна за вказаних способів обробітку – відповідно на 0,39; 0,41 і 0,51 т/га.

Таблиця 1

Урожайність пшениці озимої залежно від удобрення та обробітку ґрунту, т/га, (середнє за 2021–2023 рр.)

Система обробітку ґрунту (фактор А)	Використання побічної продукції на удобрення (фактор В)	Рік			Середнє за 2021–2023рр.	Середнє по факторах	
		2021	2022	2023		Фактор А	Фактор В
						± відхилення від контролю	± відхилення від контролю
Оранка на 20–22 см	без побічної продукції	6,18	7,56	7,26	7,00	-	-
	побічна продукція	6,32	7,71	7,41	7,15		+0,15
	побічна продукція + N ₇	6,43	7,91	7,83	7,39		+0,39
Дискування на 15–17 см	без побічної продукції	6,13	7,81	6,68	6,87	-0,11	-
	побічна продукція	6,28	7,95	6,95	7,06		+0,19
	побічна продукція + N ₇	6,38	8,18	7,27	7,28		+0,41
Дискування на 10–12 см	без побічної продукції	5,54	7,06	6,35	6,32	-0,64	-
	побічна продукція	5,71	7,22	6,55	6,49		+0,17
	побічна продукція + N ₇	6,03	7,64	6,80	6,82		+0,50
НІР ₀₅		0,23	0,31	0,37	0,23–0,37	0,10–0,21	0,10–0,21

Тобто, якщо за використання на удобрення побічної продукції культур сівозміни без застосування компенсаційного азоту для оптимізації співвідношення N:C у ґрунті прирости врожайності не перевищували НІР_{0,5} по досліді, то за його внесення вони становили залежно від способів обробітку ґрунту 5,6–7,9%, порівняно з варіантами без удобрення побічною продукцією. У наведеному інтервалі найменше зростання врожайності встановлено за оранки, а

при зменшенні глибини обробітку вона підвищувалась, що імовірно пов'язано з погіршенням забезпеченості ґрунту мінеральним азотом, відповідно, кращою реакцією на його додаткове внесення. Аналіз даних впливу способів обробітку ґрунту на врожайність зерна показав, що в середньому за три роки найвищі показники, 7,00–7,39 т/га залежно від способів використання побічної продукції, отримано за оранки на 20–22 см. Заміна оранки дискуванням на 15–17 см і 10–12 см призвела до пониження врожайності відповідно до 6,87–7,28 та 6,32–6,82 т/га.

Отримані експериментальні дані щодо запасів продуктивної вологи в шарі ґрунту 0–100 см на час відновлення весняної вегетації пшениці озимої показали, що вони практично не залежали від способів обробітку ґрунту і за відчуження з поля побічної продукції культур сівозміни становили 149–150 мм (див. табл. 2).

Заробляння в ґрунт нетоварної фітомаси без внесення компенсаційного азоту та з ним сприяло збільшенню вологозапасів залежно від способів обробітку відповідно до 151–159 та 160–165 мм відповідно. На час збирання пшениці озимої вологозапаси ґрунту за оранки на 20–22 см, дискування на 15–17 см і 10–12 см залежно від способів використання побічної продукції становили відповідно 35–42, 48–54 і 45–53 мм, тобто найменшими були на фоні оранки.

У середньому за 2021–2023 роки вологозапаси ґрунту найвищими були (54 та 53 мм) на варіанті із дискуванням на 15–17 см та 10–12 см у поєднанні із зароблянням у ґрунт побічної фітомаси та внесенням компенсаційного азоту.

Пшениця озима належить до досить вимогливих до ґрунтової вологи культур. Представлені дані свідчать про неістотну залежність сумарного водоспоживання посівів пшениці озимої від способів обробітку ґрунту та застосування побічної продукції культур сівозміни в якості органічного удобрення.

У середньому за 2021–2023 роки витрати вологи з шару ґрунту 0–100 см під посівами пшениці озимої за період весняне відновлення вегетації – повна стиглість у розрізі варіантів дослідів варіювали в межах 356–369 мм, тобто різниця між найменшим і найбільшим значенням показника становила лише 3,6%. Найбільші сумарні витрати вологи за всіх варіантів використання побічної продукції – 365–369 мм, відмічались за оранки, а заміна її дискуванням на 15–17 см і 10–12 см супроводжувалась їх зменшенням до 352–358 і 356–

363 мм відповідно. Також спостерігалась стійка тенденція до збільшення сумарних витрат вологи за використання на удобрення побічної рослинницької продукції, що ймовірно певною мірою обумовлено значно вищими її запасами у ґрунті на цих варіантах у період відновлення весняної вегетації пшениці озимої.

Таблиця 2

Накопичення та використання вологи під пшеницею озимою залежно від способів обробітку ґрунту та удобрення

Система обробітку ґрунту (фактор А)	Використання побічної продукції на удобрення (фактор В)	Запаси вологи у шарі ґрунту 0–100 см, мм		Кількість опадів за період вегетації-збирання, мм	Сумарні витрати вологи, мм	Коефіцієнт водоспоживання, мм вологи/1 т за рік
		відновлення : вегетації	збирання			
Оранка на 20–22 см	без побічної продукції	149	35	251	365	52
	побічна продукція	154	38	-/-	367	51
	побічна продукція + N ₇	160	42	-/-	369	50
Дискування на 15–17 см	без побічної продукції	149	48	-/-	352	51
	побічна продукція	155	50	-/-	356	50
	побічна продукція + N ₇	161	54	-/-	358	49
Дискування на 10–12 см	без побічної продукції	150	45	-/-	356	56
	побічна продукція	159	48	-/-	362	56
	побічна продукція + N ₇	165	53	-/-	363	53

Розрахунок коефіцієнтів водоспоживання показав, що їх значення за оранки на 20–22 см і дискування на 15–17 см були близькими і залежно від способів використання побічної продукції культур сівозміни варіювали у межах 50–52 і 49–51 мм/т відповідно. Найвищий показник коефіцієнта водоспоживання – 53–56 мм/т відмічено за дискування на 10–12 см, що обумовлено значно нижчою врожайністю пшениці озимої на фоні такого обробітку порівняно з іншими варіантами. Незалежно від способів обробітку ґрунту спостерігалась стійка тенденція до зменшення витрат вологи на 1 т

зерна за використання на удобрення нетоварної частини врожаю, особливо у комплексі із застосуванням компенсаційного азоту.

Висновки

1. У середньому за 2021–2023 роки застосування на удобрення побічної продукції культур сівозміни без компенсаційного азоту на фонах оранки на 20–22 см, дискування на 15–17 см і дискування на 10–12 см забезпечувало підвищення врожайності зерна пшениці озимої на 0,15; 0,19 і 0,17 т/га відповідно, тоді як із застосуванням компенсаційного азоту – відповідно на 0,39; 0,41 і 0,50 т/га, порівняно із варіантами, де побічну продукцію на удобрення не застосовували.

2. Залежно від способів використання нетоварної фітомаси в середньому за роки досліджень врожайність пшениці озимої за оранки на 20–22 см, дискування на 15–17 см і дискування на 10–12 см становила відповідно: 7,0–7,39, 6,87–7,28 і 6,32–6,82 т/га.

3. Запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0–100 см на час відновлення весняної вегетації пшениці озимої не залежали від способів обробітку ґрунту і за відчуження з поля побічної продукції становили 149–150 мм. Заробляння у ґрунт нетоварної фітомаси без компенсаційного азоту та з ним сприяло збільшенню вологозапасів залежно від способів обробітку відповідно до 154–159 і 160–165 мм.

4. Сумарні витрати вологи за період «весняне відновлення вегетації – повна стиглість пшениці озимої» у розрізі варіантів змінювались у межах 356–369 мм. За незначного варіювання сумарного водоспоживання його коефіцієнт насамперед залежав від врожайності і тому найменше його значення (49–51 і 50–52 мм на 1 т зерна залежно від використання побічної продукції) було відповідно за дискування на 15–17 см та оранки на 20–22 см.

1. Овсінський І. Нова система землеробства. Львів : Л. А. «Піраміда», 2007. 180 с.
2. Шикіла М. К. Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні : монографія. К. : Оранта, 2000. 389 с.
3. Демиденко О. В. Водний режим чорнозему в агроценозах Лісостепу. Чорнобай, 2023. 484 с.
4. Танчик С. П. No-till і не тільки. Сучасні системи землеробства. К. : Юнівест Медіа, 2009. 160 с.
5. Пабат І. А. Ґрунтозахисна система землеробства. К. : Урожай, 1992. 160 с.
6. Булигін С. Ю., Ачасов А. Б., Ачасова А. О., Панченко О. В., Панасенко В. М. Система оцінки та прогнозу якості земель (стан, концепція та алгоритми). К. : Аграр. наука, 2014. 240 с.
7. Павліченко А. А. Урожайність пшениці озимої залежно від систем основного обробітку ґрунту та удобрення. *Наукові доповіді НУБІП України*. 2018. № 4(74). С. 278–286. <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2018.04.009>.
8. Система ведення сільськогосподарського виробництва в господарствах Рівненської області. Рівненська державна сільськогосподарська дослідна станція. Центр наукового

забезпечення АПВ Рівненської області. 2004. 163 с. **9.** Новохацький М. Л., Сердюченко Н. М., Бондаренко О. А. Ресурсозберігаючі технології вирощування сільськогосподарських культур в умовах зміни клімату. *Техніко-технологічні системи розвитку та випробування нової техніки і технологій дня сільського господарства України* : зб. наук пр. Укр. НДІПВТ ім. Л. Погорілого. Дослідницьке, 2019. Вип. 24 (38). С. 278–287. **10.** Горобець А. Г., Циліурік О. І., Горбатенко А. І., Судак В. М. Вологозабезпеченість та урожайність польових культур за різних систем обробітку ґрунту в сівозміні. *Бюл. Ін-ту сіл. госп-ва степ. зони НААН*. Дніпропетровськ, 2011. № 1. С. 20–25. **11.** Циліурік О. І., Чорна В. І., Десятник Л. М., Горщар В. І. Вплив способів основного обробітку ґрунту на динаміку запасів продуктивної вологи в посівах ячменю ярого в умовах Північного степу України. *Зернові культури*. № 2. Том 4. 2020. С. 339–352. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0143>. **12.** Заєць П. С. Вплив способів основного обробітку ґрунту на динаміку запасів продуктивної вологи і вологозабезпеченості сої та пшениці озимої. *Зб. наук. праць ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. Київ : ВП «Едельвейс», 2018. Вип. 3. С. 17–30. **13.** Центило Л. В. Агроекологічні основи відтворення родючості чорнозему типового та підвищення продуктивності агроценозів Правобережного Лісостепу України : автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук : 06.01.01. Київ, 2020. 41 с. **14.** Малієнко А. М. Деякі шляхи оптимізації режиму вологості ґрунту у посівах польових культур. *Землеробство* : між від. тем. наук. зб. Київ : ВП «Едельвейс», 2015. Вип. 1. С. 68–76. **15.** Балаєв А. Д., Піковська О. В. Використання соломи у відновленні родючості ґрунтів. К. : «ЦП Компрінт», 2016. 244 с. **16.** Гамаюнова В. В., Нагорна О. В., Панфілова А. В. Вплив біодеструкту стерні на поживний режим ґрунту. *Збірник наукових праць Вінницького НАУ. Сер. Сільськогосподарські науки*. 2012. Вип. 6 (68). С. 17–22. **17.** Малієнко А. М., Борис Н. Є. Вплив методів основних обробіток та побічної продукції попередника на щільність складання ґрунту в сівозміні. *Зб. наук. праць Уманського національного університету садівництва*. Умань : УНУС, 2016. Вип. 89. Ч. 1. С. 113–125. **18.** Polovyy V., Snitynsky V., Hnativ P., et al. Agroecological efficiency of a crop fertilization system with the use of phytomass residues in the western forest steppe of Ukraine. *Journal of Elementology*, 2021. Vol. 26(2). P. 433–445. DOI: 10.5601/jelem.2021.26.1.2120. **19.** Іванюк Г. Біопродуктивність ґрунтів : навч. посіб. для студентів. вищ. навч. закл. Львів : Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2009. 350 с. **20.** Гамаюнова В. В., Качанова Т. В., Іскакова О. Ш. *Землеробство : методичні рекомендації*. Миколаїв, 2021. С. 80. **21.** Єщенко В. О., Копитко П. Г., Костоґриз П. В., Опришко В. П. *Основи наукових досліджень в агрономії : підручник*. Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К», 2014. 332 с.

REFERENCES:

1. Ovsinskyi I. *Nova systema zemlerobstva*. Lviv : L. A. «Piramida», 2007. 180 s.
2. Shykula M. K. *Gruntozakhysna biolohichna systema zemlerobstva v Ukraini : monohrafiia*. K. : Oranta, 2000. 389 s.
3. Demydenko O. V. *Vodnyi rezhym chornozemu v ahrotsenozakh Lisostepu*. Chornobai, 2023. 484 s.
4. Tanchyk S. P. *No-till i ne tilky. Suchasni systemy zemlerobstva*. K. : Yunivest Media, 2009. 160 s.
5. Pabat I. A. *Gruntozakhysna systema zemlerobstva*. K. : Urozhai, 1992. 160 s.
6. Bulyhin S. Yu., Achasov A. B., Achasova A. O., Panchenko O. V., Panasenko V. M. *Systema otsinky ta prohnozu yakosti zemel (stan, kontsepsiia ta alhorytmy)*. K. : Ahrar. nauka, 2014. 240 s.
7. Pavlichenko A. A. *Urozhainist pshenytsi ozymoi zalezno vid system osnovnoho obrobittku gruntu ta udobrennia*. *Naukovi dopovidi NUBIP Ukrainy*. 2018. № 4(74). S. 278–286. <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2018.04.009>.
8. *Systema vedennia* 190

silskohospodarskoho vyrobnytstva v gospodarstvakh Rivnenskoï oblasti. Rivnenska derzhavna silskohospodarska doslidna stantsiia. Tsentr naukovoï zabezpechennia APV Rivnenskoï oblasti. 2004. 163 s. **9.** Novokhatskyi M. L., Serdiuchenko N. M., Bondarenko O. A. Resursozberihaiuchi tekhnologii vyroshchuvannia silskohospodarskykh kultur v umovakh zminy klimatu. *Tekhniko-tekhnolohichni systemy rozvytku ta vyprobuvannia novoi tekhniki i tekhnologii dnia silskoho gospodarstva Ukrainy* : zb. nauk pr. Ukr. NDIPVT im. L. Pohoriloho. Doslidnytske, 2019. Vyp. 24 (38). S. 278–287. **10.** Horobets A. H., Tsyliuryk O. I., Horbatenko A. I., Sudak V. M. Volohozabezpechenist ta urozhainist polovykh kultur za riznykh system obrobitku gruntu v sivozmini. *Biul. In-tu sil. hosp-va step. zony NAAN*. Dnipropetrovsk, 2011. № 1. S. 20–25. **11.** Tsyliuryk O. I., Chorna V. I., Desiatnyk L. M., Horshchar V. I. Vplyv sposobiv osnovnoho obrobitku gruntu na dynamiku zapasiv produktyvnoi volohy v posivakh yachmeniu yaroïho v umovakh Pivnichnoho stepu Ukrainy. *Zernovi kultury*. № 2. Tom 4. 2020. S. 339–352. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0143>. **12.** Zaiets P. S. Vplyv sposobiv osnovnoho obrobitku gruntu na dynamiku zapasiv produktyvnoi volohy i volohozabezpechenosti soi ta pshenytsi ozymoi. *Zb. nauk. prats NNTs «Instytut zemlerobstva NAAN»*. Kyiv : VP «Edelweis», 2018. Vyp. 3. S. 17–30. **13.** Tsentylo L. V. Ahroekolohichni osnovy vidtvorennia rodiuchosti chornozemu typovoho ta pidvyshchennia produktyvnosti ahrotsenziv Pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy : avtoref. dys. ... d-ra s.-h. nauk : 06.01.01. Kyiv, 2020. 41 s. **14.** Maliienko A. M. Deiaki shliakhy optymizatsii rezhymu volohosti gruntu u posivakh polovykh kultur. *Zemlerobstvo* : mizh vid. tem. nauk. zb. Kyiv : VP «Edelweis», 2015. Vyp. 1. S. 68–76. **15.** Balaiev A. D., Pikovska O. V. Vykorystannia solomy u vidnovlenni rodiuchosti gruntiv. K. : «TsP Kompynt», 2016. 244 s. **16.** Hamaiunova V. V., Nahorna O. V., Panfilova A. V. Vplyv biodestruktu sterni na pozhyvnyi rezhym gruntu. *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho NAU. Ser. Silskohospodarski nauky*. 2012. Vyp. 6 (68). S. 17–22. **17.** Maliienko A. M., Borys N. Ye. Vplyv metodiv osnovnykh obrobitkiv ta pobichnoi produktsii poperednyka na shchilnist skladannia gruntu v sivozmini. *Zb. nauk. prats Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*. Uman : UNUS, 2016. Vyp. 89. Ch. 1. S. 113–125. **18.** Polovyy V., Snitynsky V., Hnativ P., et al. Agroecological efficiency of a crop fertilization system with the use of phytomass residues in the western forest steppe of Ukraine. *Journal of Elementology*. 2021. Vol. 26(2). P. 433–445. DOI: 10.5601/jelem.2021.26.1.2120. **19.** Ivaniuk H. Bioproduktyvnist gruntiv : navch. posib. dlia studentiv. vyshch. navch. zakl. Lviv : Vydavnychi tseñtr LNU im. Ivana Franka, 2009. 350 s. **20.** Hamaiunova V. V., Kachanova T. V., Iskakova O. Sh. Zemlerobstvo : metodychni rekomendatsii. Mykolaiv, 2021. S. 80. **21.** Yeshchenko V. O., Kopytko P. H., Kostohryz P. V., Opryshko V. P. Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii : pidruchnyk. Vinnytsia : PP «TD «Edelweis i K», 2014. 332 s.

Polovyi V. M. [1; ORCID ID: 0000-0002-3133-9803],
Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the
National Academy of Sciences,
Furmanets M. H. [1; ORCID ID: 0000-0002-3091-4036],
Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Senior Research Fellow,
Furmanets Yu. S. [1; ORCID ID: 0000-0003-4921-4889],
Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Senior Research Fellow

¹Institute of Agriculture of the Western Polissia of the NAAS, Shubkiv village, Rivne region

EFFICIENCY OF MOISTURE USE BY WINTER WHEAT UNDER VARIOUS SOIL TREATMENT METHODS AND USE OF SIDE VEGETATIVE MASS FOR FERTILIZATION IN THE WESTERN FOREST-STEP OF UKRAINE

The scientific article presents the results of studies on the influence of soil tillage methods and the use of crop rotation by-products on the yield and water consumption of winter wheat. The research was conducted in a long-term stationary field experiment under the conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine within a short-rotation crop sequence: winter wheat – sunflower – maize for grain – soybean.

The results concerning the effect of applying crop rotation by-products, both without and with compensatory nitrogen, under different primary soil tillage systems are presented for the period 2021–2023. The stationary experiment tested the following tillage systems: plowing to a depth of 20–22 cm, disking to 15–17 cm, and disking to 10–12 cm. The results of winter wheat grain yield assessment demonstrated a significant increase due to the application of by-products (soybean straw as the preceding crop residue), amounting to +2.1% under plowing, +2.8% under disking at 15–17 cm, and +2.7% under disking at 10–12 cm.

The incorporation of the preceding crop straw together with a compensatory nitrogen dose (N₇) resulted in an increase in winter wheat grain yield compared to the straw removal treatment by 5.6% under plowing, 6.0% under disking at 15–17 cm, and 7.9% under disking at 10–12 cm.

The study established a consistent pattern of a significant decrease in winter wheat grain yield with decreasing tillage depth, due to reduced access to soil nutrient reserves: under plowing, yield was the highest (7.00 t/ha), whereas under disking at 10–12 cm it was lower by 9.7%, and under disking at 15–17 cm the reduction was only 1.9%.

The use of the preceding crop by-products as an organic fertilizer contributed to an increase in winter wheat yield by 0.15 t/ha under plowing, 0.19 t/ha under disking at 15–17 cm, and 0.17 t/ha under disking at 10–12 cm.

Nitrogen compensation in the application of preceding crop by-products proved to be most effective under minimum tillage (disking at 10–12 cm),

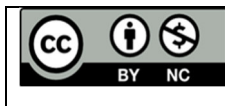
resulting in a yield increase of 0.33 t/ha, or +5.1%, compared to the same treatment without nitrogen compensation. Overall, the effect of nitrogen compensation was also significant in other treatments, leading to an increase in winter wheat yield by 3.4% under plowing and by 3.1% under disking at 15–17 cm.

On average over the years of study, total water consumption during the period from spring vegetation renewal to full maturity varied across treatments within the range of 356–369 mm (3.6%), indicating that neither tillage methods nor the use of by-products had a significant effect on this parameter.

The water consumption coefficient primarily depended on yield; accordingly, depending on the methods of by-product utilization, the lowest values (49–51 mm/t and 50–52 mm/t) were observed under disking at 15–17 cm and plowing at 20–22 cm, respectively. The highest value of the water consumption coefficient (53–56 mm/t) was recorded under disking at 10–12 cm, which is explained by the significantly lower yield of winter wheat compared to other primary tillage systems.

Keywords: nitrogen; fertilizer; winter wheat; treatment; yield; straw; water consumption; soil tillage depth.

Отримано / Received: 20.02.2026
Прийнято до друку / Accepted: 10.03.2026
Опубліковано / Published: 27.03.2026



© 2026 [Polovyi V. M., Furmanets M. H., Furmanets Yu. S.]. Licensee {NUWEE}. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org)

УДК 504.064:628.1

<https://doi.org/10.31713/vs1202615>

Прищеп А. М. [1; ORCID ID: 0000-0001-5096-9088],

д.с.-г.н., професор,

Буднік З. М. [1; ORCID ID: 0000-0002-0579-954X],

к.с.-г.н., доцент,

Полтавченко Т. В. [1; ORCID ID: 0000-0001-8531-2924],

к.вет.н., доцент,

Ковальчук Н. С. [1; ORCID ID: 0000-0003-2495-7731],

к.с.-г.н., доцент,

Рабешко О. В. [1],

здобувач третього рівня вищої освіти

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

СТРАТЕГІЯ ЗНИЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ДЛЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ РІВНЕНЬСЬКОГО РАЙОНУ ЗА УМОВ ЗМІНИ КЛІМАТУ

У статті здійснено комплексну оцінку екологічних ризиків погіршення стану водних об'єктів Рівненського району в умовах зростаючого антропогенного навантаження та кліматичних змін. Водні ресурси регіону відіграють важливу роль у забезпеченні потреб населення, функціонуванні аграрного сектору та промисловості, проте зазнають впливу дифузного сільськогосподарського забруднення, скидів недостатньо очищених стічних вод, трансформації гідроморфологічних характеристик і підвищення температури води. Оцінювання екологічного ризику здійснювалося з використанням нормативного підходу та інтегральних показників якості поверхневих вод із урахуванням органолептичних, гідрохімічних, токсикологічних і радіаційних складових. Сумарний екологічний ризик визначався за диференційованою системою показників із подальшим ранжуванням за класами якості води.

За результатами розрахунків встановлено істотну просторову диференціацію стану водних екосистем. Найбільш критична ситуація характерна для річки Устя ($ER = 0,98$), що відповідає V класу якості («поганий» стан), тоді як річка Стубла характеризується задовільним станом ($ER = 0,39$). Основними чинниками формування ризику є трофо-сапробіологічні показники та вміст токсичних неорганічних і органічних речовин. Доведено, що кліматичні зміни посилюють негативні тенденції через зменшення водності, зростання температури води та інтенсифікацію процесів евтрофікації.

Запропоновано стратегію зниження екологічних ризиків, що базується на принципах інтегрованого управління водними ресурсами та передбачає поєднання інженерних, природоорієнтованих і управлінських

заходів. Реалізація запропонованих підходів сприятиме підвищенню екологічної стійкості водних екосистем і забезпеченню раціонального використання водних ресурсів регіону.

Важливим елементом реалізації запропонованої стратегії є вдосконалення системи екологічного моніторингу на основі цифрових технологій, геоінформаційних систем та прогнозних моделей, що дозволить своєчасно ідентифікувати критичні зміни якості води та оперативно реагувати на них. Запровадження ризик-орієнтованого підходу до управління водними ресурсами сприятиме оптимізації фінансових витрат, концентрації ресурсів на найбільш проблемних ділянках басейнів і підвищенню ефективності природоохоронних заходів. Водночас активне залучення територіальних громад, водокористувачів і суб'єктів господарювання до процесів планування та реалізації водоохоронної політики створить передумови для формування відповідального ставлення до водних ресурсів і забезпечить довгострокову екологічну безпеку регіону.

Ключові слова: екологічний ризик; водні об'єкти; якість поверхневих вод; кліматичні зміни; інтегроване управління водними ресурсами; антропогенне навантаження; природоорієнтовані рішення.

Водні ресурси є ключовим компонентом екосистем і основою сталого розвитку регіонів, забезпечуючи життєдіяльність населення, сільськогосподарську діяльність та функціонування промисловості. У Рівненському районі, як і в багатьох інших регіонах України, якість і доступність водних ресурсів значною мірою залежать від впливу антропогенних факторів. Інтенсивне використання земель для сільського господарства, промислові викиди, несанкціоновані скиди стічних вод та зміни клімату створюють серйозні екологічні загрози для водних об'єктів району.

Сучасна екологічна ситуація вимагає розробки комплексної стратегії зниження ризиків для водних екосистем, яка включає моніторинг, впровадження природоохоронних заходів і залучення місцевих громад. Необхідність такої стратегії зумовлена не лише екологічними, а й соціально-економічними факторами, оскільки забруднення водних ресурсів безпосередньо впливає на здоров'я населення, продуктивність агросектору та загальну якість життя.

Рівненський район є важливим регіоном із розвиненою сільськогосподарською та промисловою інфраструктурою, що зумовлює потребу у впровадженні ефективних стратегій управління водними ресурсами. Збереження якості водних об'єктів регіону

потребує комплексного підходу, який передбачає оцінку потенційних загроз, розробку заходів щодо їх мінімізації та впровадження ефективних механізмів екологічного моніторингу.

Метою цієї статті є аналіз сучасного стану водних об'єктів Рівненського району, визначення основних джерел екологічних ризиків та розробка практичних рекомендацій для їх мінімізації. У дослідженні використані методи екологічного моніторингу, аналізу статистичних даних, а також підходи до оцінки ризиків, що базуються на принципах сталого управління природними ресурсами.

Матеріали і методи. У ході дослідження для оцінки екологічного стану водних об'єктів Рівненського району та розробки стратегії зниження екологічних ризиків були використані як теоретичні, так і практичні методи дослідження. Оцінку екологічного ризику здійснювали із використанням «Методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» [1], яка була розроблена у 1998 р. Оцінка екологічного стану водних об'єктів здійснюється на основі екологічної класифікації якості поверхневих вод, яка включає перелік гідрофізичних, гідрохімічних, гідробіологічних, бактеріологічних, токсикологічних та інших показників, що відображають особливості абіотичної та біотичної складових водних екосистем [2].

Ризик у науковому розумінні доцільно визначати як якісну та/або кількісну характеристику ситуації, що формується за умов невизначеності результатів розвитку подій та обов'язково супроводжується ймовірністю виникнення несприятливих наслідків [3]. Оцінювання екологічного ризику може здійснюватися з використанням системи інтегральних показників, які комплексно відображають стан навколишнього природного середовища. Зокрема, до таких показників належать інтегральні індекси, що узагальнюють кількісні параметри стану ґрунтів і земельних ресурсів [4], а також показники, які характеризують хімічний склад ґрунтів і донних відкладів у поєднанні з індикаторами інтенсивності антропогенного навантаження, зокрема площею сільськогосподарських угідь, рівнем їх розораності, залісеності та іншими показниками землекористування [5]. Формування інтегральних показників екологічного ризику ґрунтується на застосуванні спеціалізованих математико-статистичних моделей, що передбачають використання значної кількості взаємопов'язаних і специфічних параметрів.

Розрахунок екологічних ризиків забруднення річок Рівненського району проводився для окремих груп гідрохімічних показників якості поверхневих вод України, а також із використанням матеріалів

Департаменту екології та природних ресурсів Рівненської облдержадміністрації. Для розрахунку екологічних ризиків використовували нормативний метод ідентифікації, коли наявність ризику R визначається ймовірною у випадку виконання граничних умов наступної групи нерівностей [6; 7]:

$$R_i \cong C_i > C_{ГДК}, \quad (1)$$

$$R_i = \frac{C_i}{C_{ГДКі}} > 1, \quad (2)$$

$$R_i = \frac{C_{ГДКі}}{C_i} < 1, \quad (3)$$

де R – кількісний показник ризику; C_i – рівень концентрації i -ї забруднювальної речовини; $C_{ГДКі}$ – гранично допустима концентрація для i -ї забруднювальної речовини. $C_{ГДКі}$ призначається залежно від виду водокористувача. З урахуванням ймовірності настання ризикової події показник ризику R набуває вигляду

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{ГДКі}} \cdot \frac{N_{ai}}{N_i} > 1, \quad (4)$$

де C_i – концентрація i -ї забруднювальної речовини; $C_{ГДКі}$ – гранично допустима концентрація i -ї забруднювальної речовини; N_{ai} – кількість проб з хімічним показником, коли ГДК було перевищене; N_i – загальне число відібраних проб.

У випадках, передбачених чинними нормативно-методичними документами, ідентифікація екологічного ризику забруднення водних об'єктів здійснюється на основі нормування показників якості води, зокрема органолептичних та фізико-хімічних характеристик. До переліку таких показників віднесено інтенсивність запаху (у балах), смак і присмак, кольоровість води (у градусах Pt-Co), прозорість, водневий показник (рН), відсоток насичення води розчиненим киснем та інші регламентовані параметри якості водного середовища [8].

Відповідно до розрахункових залежностей (1–4), оцінювання екологічного ризику погіршення стану водних об'єктів Рівненського району здійснювалося за диференційованим підходом із виділенням окремих компонентів ризику залежно від груп показників якості води. Зокрема, було визначено екологічний ризик R_{op} , асоційований з органолептичними властивостями води; екологічний ризик $R_{ск}$, зумовлений сольовим складом вод; екологічний ризик $R_{т_гх}$, що характеризує трофо-сапробіологічний стан водних об'єктів (у розрахунках використано виключно гідрохімічні показники); екологічний ризик R_{hp_A} , пов'язаний із кількісною оцінкою вмісту

неорганічних речовин токсичної дії; екологічний ризик R_{Op_A} , обумовлений токсичним впливом органічних забруднювальних речовин пріоритетної групи (нафтопродукти, пестициди); а також екологічний ризик R_p , що відображає рівень радіаційного забруднення поверхневих вод.

Під час розрахунку екологічних ризиків вихідним методологічним припущенням є положення про те, що переважна більшість наслідків господарської діяльності, у тому числі процесів, пов'язаних із забрудненням навколишнього природного середовища, зокрема водних об'єктів, має стохастичний характер. Такі наслідки розглядаються як випадкові величини, розподіл яких наближається до нормального (гаусівського) закону [4–6]. Результати перевірки рядів значень R із використанням критерію Гаусса підтвердили можливість їх інтерпретації як статистичних вибірок, що підпорядковуються нормальному закону розподілу.

Сумарний екологічний ризик погіршення стану водних об'єктів визначався з використанням правила множення ймовірностей, що передбачає незалежність окремих складових ризику. Підсумкове значення сумарного екологічного ризику погіршення стану водного об'єкта обчислювалося за формулою:

$$ER = \sum Ri, \quad (5)$$

де ER – сумарний екологічний ризик погіршення стану водних об'єктів; ER_1, ER_2, \dots, ER_i – екологічні ризики, пов'язані з окремими групами забруднювальних речовин; $i=6$.

Зокрема, екологічний ризик за показником забарвленості води $P_{зab}$ визначався відповідно до рівняння:

$$P_{зab} = -33,3 + \frac{(67,0 \times (\Psi - \Phi))}{20}, \quad (6)$$

де Φ – природна забарвленість води, встановлена за результатами багаторічних спостережень і характерна для відповідного сезону року або водного режиму водойми; Ψ – фактична забарвленість води (у градусах забарвленості).

Для розрахунку ризику за водневим показником використовувалися залежності:

$$PrH = 4 - pH \text{ при } pH \leq 7, \quad (7)$$

$$PrH = -11 + pH \text{ при } pH > 7. \quad (8)$$

Оцінювання ризику за показником природного запаху та/або смаку здійснювалося за виразом:

$$P_{сз} = -32,3 + \frac{\lg(\text{бали})}{5,2}. \quad (9)$$

Ризик, пов'язаний із санітарно-токсикологічними властивостями води та гідрохімічними показниками забруднення, визначався на основі рівняння:

$$P_{\text{ст/гх}} = -32,3 + \lg \left(\frac{C_i}{C_N} \right), \quad (10)$$

де C_i – концентрація i -ї речовини у водному середовищі; C_N – екологічний норматив для водних об'єктів відповідної категорії [9].

Разом з тим слід зазначити, що практична оцінка більшості екологічних ризиків, зокрема пов'язаних зі станом водних об'єктів, характеризується високим рівнем інформаційної невизначеності та відсутністю достовірних кількісних показників розвитку майбутніх ситуацій. В умовах такої невизначеності застосування класичних статистичних методів є істотно ускладненим, оскільки неможливо забезпечити надійну кількісно-часову оцінку ймовірності реалізації подій.

Сучасний апарат багатовимірного статистичного аналізу дозволяє здійснювати оцінювання лише з певною мірою ймовірності реалізації подій з урахуванням їх кількісних та якісних характеристик. У зв'язку з цим доцільним є формалізований підхід до визначення та оцінювання екологічних ризиків на основі методів експертного оцінювання.

З цієї позиції одним із достатньо обґрунтованих та аргументованих підходів до розв'язання завдань експертного оцінювання екологічних ризиків є метод побудови шкал якісного та кількісного оцінювання показників ризику, запропонований у роботі [9].

При трактуванні отриманих величин екологічного ризику пропонується користуватися наступною ранговою шкалою (табл. 1).

Водна мережа Рівненського району представлена річками басейнів Горині, Стиру та їх приток, численними меліоративними каналами, ставками та водосховищами. Значна частина водних об'єктів зазнає впливу сільськогосподарського використання територій, скидів недостатньо очищених стічних вод, а також зарегулювання русел.

Проблеми погіршення якості води проявляються у підвищенні вмісту біогенних елементів, органічних сполук, важких металів, що негативно впливає на біорізноманіття та екологічний стан водних екосистем.

Таблиця 1
Залежність якості поверхневих вод від величини екологічного ризику
[10]

Клас якості води	Характеристика водних ресурсів	Значення екологічного ризику
I Відмінний	Водні об'єкти в природному стані звичайно оліготрофні, вода прозора чи з невеликою кількістю гумусу. Водні об'єкти придатні для усіх видів використання	<0,1
II Гарний	Водні об'єкти близькі до природного стану чи слабо евтрофовані. Вода придатна для усіх видів використання	0,1–0,19
III Задовільний	Водні об'єкти знаходяться під слабким впливом стічних вод, площинних джерел забруднення чи інших видів впливу. Якість звичайно задовольняє вимогам більшості видів водокористування	0,2–0,59
IV Незадовільний	Вода водних об'єктів значно забруднена в результаті надходження стічних вод, поверхневого стоку, а також під впливом інших факторів. Водні об'єкти придатні тільки для тих видів використання, у яких менш жорсткі вимоги до якості води	0,6–0,89
V Поганий	Водні об'єкти сильно забруднені стічними водами, поверхневим стоком чи у результаті впливу інших факторів	0,9–1,0

До ключових екологічних ризиків для водних об'єктів Рівненського району належать: гідрологічні ризики – зменшення стоку, обміління малих річок, порушення природного водообміну; якісні ризики – зростання концентрації забруднюючих речовин через зменшення водності; біоекологічні ризики – евтрофікація, «цвітіння» води, зниження чисельності гідробіонтів; соціально-економічні ризики – дефіцит якісної питної води, зростання витрат на водопідготовку.

Кліматичні зміни посилюють ці ризики, знижуючи адаптаційний потенціал водних екосистем.

Територія Рівненського району розташована в межах басейнів річок Горинь та Стир, які є складовими великої транскордонної системи річки Прип'ять. У контексті кліматичних змін для регіону характерними є: зменшення весняного водопілля внаслідок скорочення снігового покриву; збільшення тривалості літньої межени; підвищення температури води у малих водотоках; зростання ризику локальних паводків після інтенсивних злив.

Підвищення температури води стимулює розвиток синьо-зелених водоростей, що призводить до евтрофікації та погіршення кисневого режиму. Водночас зниження стоку спричиняє накопичення забруднюючих речовин, особливо азотних та фосфорних сполук, які надходять із сільськогосподарських угідь.

В ході проведення розрахунків сумарного екологічного ризику погіршення якості води у водоймах Рівненського району були використані матеріали гідрохімічного та гідродинамічного моніторингу Департаменту екології та природних ресурсів Рівненської облдержадміністрації, Рівненського обласного центру з гідрометеорології та власних наукових досліджень Національного університету водного господарства та природокористування (табл. 2).

Таблиця 2

Розрахунок сумарного екологічного ризику погіршення стану водних ресурсів Рівненського району

Річка	Середнє значення індексу екологічних показників						Сумарний екологічний ризик ER	Якісна характеристика зон ризику	Загальна оцінка якості води
	R_{op}	$R_{ск}$	$R_{T_{гх}}$	$R_{Нр_{А}}$	$R_{Op_{А}}$	R_p			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горинь	0,39	0,85	0,78	0,92	0,74	0,15	0,62	незадовільний	забруднена
Устя	0,41	1,45	1,62	1,38	1,71	0,15	0,98	поганий	сильно забруднена
Стубла	0,29	0,76	0,69	0,82	0,73	0,15	0,39	задовільний	відносно чиста
Путилівка	0,35	1,12	1,05	1,18	1,09	0,15	0,74	незадовільний	забруднена

Результати розрахунку сумарного екологічного ризику свідчать про істотну диференціацію стану водних об'єктів Рівненського району залежно від рівня антропогенного навантаження та гідрологічних особливостей водотоків. Найвищі значення сумарного ризику ($ER = 0,98$) встановлено для річки Устя, що відповідає V класу якості води («поганий» стан). Такий показник зумовлений значним впливом урбанізованої території м. Рівного, зокрема скидами недостатньо очищених стічних вод, поверхневим стоком з транспортної інфраструктури та високою концентрацією біогенних речовин.

Для річки Горинь сумарний екологічний ризик становить 0,62, що відповідає IV класу якості («незадовільний» стан). Незважаючи на відносно високий потенціал самоочищення як транзитної річки,

негативний вплив формують дифузні джерела забруднення аграрного походження, зокрема надходження азотних і фосфорних сполук із сільськогосподарських угідь.

Річка Путилівка характеризується значенням $ER = 0,74$, що також відповідає незадовільному стану. Враховуючи малу водність і низьку буферну здатність екосистеми, навіть незначні локальні скиди призводять до суттєвого погіршення гідрохімічних показників.

Найменший сумарний ризик зафіксовано для річки Стубла ($ER = 0,39$), що відповідає III класу якості води («задовільний» стан). Це свідчить про відносно помірний рівень антропогенного навантаження та кращу екологічну стійкість водної екосистеми.

Отримані результати підтверджують, що основними чинниками формування ризику є трофо-сапробіологічні показники (RT_{gx}), а також показники токсичної дії неорганічних і органічних речовин (RHr_A , ROp_A). Радіаційна складова ризику (Rp) у структурі сумарного показника є мінімальною.

Кліматичні зміни посилюють виявлені негативні тенденції. Підвищення температури води активізує біохімічні процеси розкладу органічних речовин, що спричиняє зростання показників БСК₅ та ХСК. Зменшення водності річок у літній період знижує розбавлювальну здатність водотоків, унаслідок чого концентрації забруднювальних речовин зростають навіть без збільшення їх фактичного надходження.

Особливо вразливими є малі річки, для яких характерні короткі гідрологічні цикли та швидка реакція на зміну кліматичних параметрів. У таких умовах навіть помірні антропогенні впливи можуть трансформуватися у критичні екологічні ризики.

Ефективна стратегія зниження екологічних ризиків повинна базуватися на принципах інтегрованого управління водними ресурсами (IUBP), що передбачає координацію діяльності органів місцевого самоврядування, водогосподарських організацій, аграрного сектору та громадськості.

Ключові напрями адаптації:

1. Регулювання дифузного забруднення. Впровадження екологічно збалансованих агротехнологій, створення буферних смуг уздовж водотоків, мінімізація застосування мінеральних добрив.

2. Модернізація інженерної інфраструктури. Реконструкція очисних споруд із впровадженням сучасних технологій біологічного очищення та доочистки стічних вод.

3. Відновлення природної гідроморфології. Демонтаж застарілих гідротехнічних споруд, відновлення природних русел, ренатуралізація заплав.

4. Водозбереження та повторне використання води. Стимулювання підприємств до впровадження замкнених циклів водокористування.

Природоорієнтовані рішення є одним із найбільш ефективних і економічно доцільних інструментів адаптації до кліматичних змін. Відновлення водно-болотних угідь сприяє акумулюванню надлишкової води в період паводків і підтриманню стоку в посушливі періоди. Лісорозведення в прибережних зонах покращує фільтрацію поверхневого стоку та зменшує ерозійні процеси.

Застосування таких підходів дозволяє не лише знизити екологічні ризики, але й підвищити екосистемні послуги, зокрема регуляцію мікроклімату та збереження біорізноманіття.

Успішність впровадження стратегії значною мірою залежить від фінансових механізмів та нормативно-правового регулювання. Доцільним є: залучення коштів екологічних фондів; участь територіальних громад у грантових програмах; впровадження економічних стимулів для суб'єктів господарювання, що зменшують водоекологічні ризики.

Особливого значення набуває цифровізація управління водними ресурсами – створення регіональних інформаційних платформ моніторингу стану водних об'єктів.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку прогнозних моделей зміни екологічного стану водних об'єктів за різних кліматичних сценаріїв, а також на вдосконалення методики інтегральної оцінки ризику з урахуванням кумулятивного ефекту забруднювальних речовин. Важливим є також застосування багатофакторного аналізу для встановлення вагових коефіцієнтів окремих складових ризику.

Отже, встановлено, що водні об'єкти Рівненського району характеризуються різним рівнем екологічного ризику, найбільш критична ситуація спостерігається у басейні річки Устя. Основними чинниками формування ризику є надходження біогенних і токсичних речовин, що посилюється впливом кліматичних змін. Запропонована стратегія передбачає поєднання інженерних, природоорієнтованих та управлінських заходів. Реалізація запропонованих заходів дозволить підвищити екологічну стійкість водних екосистем і забезпечити збереження водних ресурсів регіону в умовах кліматичних трансформацій.

1. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В. Д. Романенко, В. М. Жукинський, О. П. Окнісюк та ін. К. : Символ-Т, 1998. 28 с.
2. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / А. В. Гриценко, О. Г. Васенко, Г. А. Верніченко та ін. Х. : УкрНДІЕП. 2012. 37 с.
3. Рибалова О. В., Белан С. В. Екологічний ризик погіршення стану ґрунтів і земельних ресурсів України. *Екологія и промисленность*. 2013. № 3. С. 15–22. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekolprom_2013_3_5. (дата звернення: 26.02.2026).
4. Serbov M., Hryb O., Pylypiuk V. Assessment of the ecological risk of pollution of soil and bottom sediments in the Ukrainian Danube region. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2021. Vol. 2. Pp. 137–144. URL: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-2/137>
5. Шурда К. Е. Методи якісного та кількісного аналізу ризиків. *Збалансоване природокористування*. 2020. Вип. 4. С. 64–72. doi: 10.33730/2310-4678.4.2020.
6. Юрасов С. М., Сафранов Т. А., Чугай А. В. Оцінка якості природних вод : навч. посіб. Одеса : Екологія, 2012. 168 с.
7. Степаненко С. М., Польовий А. М. та ін. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату : монографія / за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса : ТЕС, 2018. 548 с.
8. Лобода Н. С., Отченаш Н. Д., Федіна Н. О. Розроблення методичного підходу до визначення екологічних ризиків забруднення водних об'єктів у межах індустріально розвинутих територій (на прикладі річок міста Харків). *Український гідрометеорологічний журнал*. 2023. № 31. С. 88–102. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Uggj_2023_31_8. (дата звернення: 26.02.2026).
9. Дем'янова О. О., Рибалова О. В. Новий підхід до оцінювання екологічного ризику погіршення стану басейну річки Інгулець в Херсонській області. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2013. № 1/6(61). С. 45–49.
10. Таранюк К. В. Організаційно-економічні основи управління екологічним ризиком на регіональному рівні : дис. ... канд. екон. наук : 08.00.06. Суми, 2013. 259 с.
11. Сніжко С. І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. Київ : Ніка-Центр, 2001. 264 с.
12. Клименко М. О., Буднік З. М., Копилова О. М. Кліматичні особливості формування екологічного стану басейну р. Іква. *Вісник НУВГП. Сільськогосподарські науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2020. Вип. 2(90). С. 60–71. URL: <https://doi.org/10.31713/vs220206>

REFERENCES:

1. Metodyka ekolohichnoi otsinky yakosti poverkhnevyykh vod za vidpovidnyu katehoriiamy / V. D. Romanenko, V. M. Zhukynskiy, O. P. Oknisiuk ta in. K. : Symvol-T, 1998. 28 s.
2. Metodyka ekolohichnoi otsinky yakosti poverkhnevyykh vod za vidpovidnyu katehoriiamy / A. V. Hrytsenko, O. H. Vasenko, H. A. Vernichenko ta in. Kh. : UkrNDIEP. 2012. 37 s.
3. Rybalova O. V., Bielan S. V. Ekolohichni ryzyk pohirshennia stanu gruntiv i zemelnykh resursiv Ukrainy. *Ekolohiya y promyshlennost*. 2013. № 3. S. 15–22. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekolprom_2013_3_5. (data zvernennia: 26.02.2026).
4. Serbov M., Hryb O., Pylypiuk V. Assessment of the ecological risk of pollution of soil and bottom sediments in the Ukrainian Danube region. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2021. Vol. 2. Rr. 137–144. URL: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-2/137>
5. Shurda K. E. Metody yakisnoho ta kilkisnoho analizu ryzykiv. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*. 2020. Vyp. 4. S. 64–72. doi: 10.33730/2310-4678.4.2020.
6. Yurasov S. M., Safranov T. A., Chuhai A. V. Otsinka yakosti pryrodnykh vod : navch. posib. Odessa : Ekolohiia, 2012. 168 s.
7. Stepanenko S. M., Polovyi A. M. ta in. Klimatychni ryzyky funktsionuvannia haluzei ekonomiky Ukrainy v umovakh zminy klimatu :

monohrafiia / za red. S. M. Stepanenka, A. M. Polovoho. Odesa : TES, 2018. 548 s.

8. Loboda N. S., Otchenash N. D., Fedina N. O. Rozroblennia metodychnoho pidkходу do vyznachennia ekolohichnykh ryzykiv zabrudnennia vodnykh ob'ektiv u mezhakh industrialno rozvynutykh terytorii (na prykladi richok mista Kharkiv). *Ukrainskyi hidrometeorolohichnyi zhurnal*. 2023. № 31. S. 88–102. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Uggj_2023_31_8. (data zvernennia: 26.02.2026).

9. Demianova O. O., Rybalova O. V. Novyi pidkhid do otsiniuvannia ekolohichnoho ryzyku pohirshennia stanu baseinu richky Inhulets v Khersonskii oblasti. *Vostochno-Evropeyskyi zhurnalпередовыkh tekhnolohyi*. 2013. № 1/6(61). S. 45–49.

10. Taraniuk K. V. Orhanizatsiino-ekonomichni osnovy upravlinnia ekolohichnym ryzykom na rehionalnomu rivni : dys. ... kand. ekon. nauk : 08.00.06. Sumy, 2013. 259 s.

11. Snizhko S. I. Otsinka ta prohnozuvannia yakosti pryrodnykh vod. Kyiv : Nika-Tsentr, 2001. 264 s.

12. Klymenko M. O., Budnik Z. M., Kopylova O. M. Klimatychni osoblyvosti formuvannia ekolohichnoho stanu baseinu r. Ikva. *Visnyk NUVHP. Silskohospodarski nauky* : zb. nauk. prats. Rivne : NUVHP, 2020. Vyp. 2(90). S. 60–71. URL: <https://doi.org/10.31713/vs220206>

Pryshchepa A. M. ^[1; ORCID ID: 0000-0001-5096-9088],

Doctor of Agricultural Sciences, Professor,

Budnik Z. M. ^[1; ORCID ID: 0000-0002-0579-954X],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor,

Poltavchenko T. V. ^[1; ORCID ID: 0000-0001-8531-2924],

Candidate of Veterinary Sciences (Ph.D.), Associate Professor,

Kovalchuk N. S. ^[1; ORCID ID: 0000-0003-2495-7731],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor,

Rabeshko O. V. ^[1],

Post-graduate Student

¹National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

STRATEGY FOR REDUCING ENVIRONMENTAL RISKS TO WATER BODIES OF THE RIVNE DISTRICT UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS

The article presents a comprehensive assessment of environmental risks related to the deterioration of the condition of water bodies in the Rivne District under increasing anthropogenic pressure and climate change. The region's water resources play an important role in meeting the needs of the population and supporting the functioning of the agricultural sector and industry; however, they are affected by diffuse agricultural pollution, discharges of insufficiently treated wastewater, transformation of hydromorphological characteristics, and rising water temperatures.

Environmental risk assessment was carried out using a regulatory approach and integral indicators of surface water quality, taking into account organoleptic, hydrochemical, toxicological, and radiological components. The total environmental risk was determined using a differentiated system of indicators with subsequent ranking by water quality classes.

The calculations revealed significant spatial differentiation in the condition of aquatic ecosystems. The most critical situation is characteristic of the Ustia River (ER = 0.98), which corresponds to Class V water quality ("poor" status), while the Stubla River is characterized by a satisfactory condition (ER = 0.39). The main risk-forming factors are trophic-saprobic indicators and the content of toxic inorganic and organic substances. It has been demonstrated that climate change intensifies negative trends through reduced water availability, increased water temperature, and intensification of eutrophication processes.

A strategy for reducing environmental risks is proposed, based on the principles of integrated water resources management and provides a combination of engineering, nature-based, and management measures. Implementation of the proposed approaches will contribute to increasing the ecological resilience of aquatic ecosystems and ensuring the rational use of the region's water resources.

An important element of implementing the proposed strategy is the improvement of the environmental monitoring system based on digital technologies, geographic information systems, and predictive models, which will enable timely identification of critical changes in water quality and prompt response. The introduction of a risk-oriented approach to water resources management will help optimize financial expenditures, concentrate resources on the most problematic sections of river basins, and improve the effectiveness of environmental protection measures. At the same time, active involvement of territorial communities, water users, and economic entities in the planning and implementation of water protection policy will create prerequisites for fostering responsible attitudes toward water resources and ensuring long-term environmental security of the region.

Keywords: environmental risk; water bodies; surface water quality; climate change; integrated water resources management; anthropogenic pressure; nature-based solutions.

Отримано / Received: 05.03.2026

Прийнято до друку / Accepted: 19.03.2026

Опубліковано / Published: 27.03.2026



© 2026 [Pryshchepa A. M., Budnik Z. M., Poltavchenko T. V., Kovalchuk N. S., Rabeshko O. V.]. Licensee {NUWEE}. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org)

Ціпан Ю. Р. [1; ORCID ID: 0000-0001-7279-7416],
старший викладач, аспірант

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ВМІСТУ РУХОМИХ ФОРМ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ЛІСОВИХ ҐРУНТАХ З РІЗНИМ РІВНЕМ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

У статті представлено результати порівняльної оцінки вмісту рухомих форм важких металів (Cu, Zn, Pb, Cd) у лісових ґрунтах з різним рівнем антропогенного навантаження. Дослідження проводили на трьох ділянках за однакових ґрунтово-лісорослинних умов. Ділянка № 1 розташована у рекреаційній зоні поблизу автомобільної траси. Ділянка № 2 являє собою масив, що зазнав лісової пожежі середньої інтенсивності. Ділянка № 3, що знаходиться в межах лісництва та не має вираженого антропогенного впливу, розглядалася в якості контрольної. Відбір зразків здійснювали з верхнього гумусового горизонту (0–10 см). Визначення рухомих форм металів проводили методом екстракції ацетатно-амонійним буфером (рН 4,8) з подальшим аналітичним опрацюванням.

У 2022 році найвищі концентрації Pb (1,37 мг/кг) та Cd (0,18 мг/кг) було зафіксовано на постпожежній ділянці, що пов'язано з термічною трансформацією органічної речовини та перерозподілом металів у ґрунті. Через три роки після пожежі встановлено зниження вмісту Cu та Zn, що свідчить про поступову стабілізацію постпожежних геохімічних процесів. Натомість на приватодорожній ділянці у 2025 році відмічено зростання концентрацій Pb до 1,51 мг/кг та Zn до 0,86 мг/кг, що вказує на кумулятивний характер транспортного впливу. Контрольна ділянка характеризувалася стабільними фоновими показниками протягом усього періоду досліджень.

Концентрації рухомих форм Cu, Zn, Pb і Cd у 2022 та 2025 рр. не перевищували встановлених гранично допустимих значень. Однак, за результатами досліджень, були виявлені просторові відмінності, що підтверджують різноспрямований вплив екстремальних і хронічних антропогенних чинників на мобільність металів у лісових ґрунтах. Отримані результати підкреслюють доцільність використання рухомих форм важких металів як індикатора екологічного стану лісових екосистем та необхідність довготривалого моніторингу приватодорожніх і постпожежних територій.

Ключові слова: ліс; ґрунт; рухомі форми важких металів; моніторинг.

Постановка проблеми. Лісові ґрунти є важливим компонентом наземних екосистем, що виконують функції акумуляції, трансформації та міграції хімічних елементів. В умовах зростаючого антропогенного навантаження особливої актуальності набуває проблема накопичення важких металів, які відзначаються токсичністю, здатністю до біокумуляції та тривалим періодом перебування в довкіллі. На відміну від валового вмісту, саме рухомі форми металів визначають їхню біодоступність, міграційну активність і потенційну екотоксикологічну небезпеку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед основних джерел надходження важких металів у лісові ґрунти виділяють транспортні викиди, атмосферне перенесення забруднювачів, промислової діяльності, а також лісові пожежі [1]. Пожежі призводять до згоряння органічної речовини [2], зміни фізико-хімічних властивостей ґрунту [3], трансформації органо-мінеральних комплексів [4] і перерозподілу елементів у профілі [5].

У свою чергу, постійне транспортне навантаження формує тривалий кумулятивний ефект, що проявляється у поступовому зростанні концентрацій свинцю, цинку, кадмію та інших металів у приповерхневому шарі [6; 7].

Незважаючи на значну кількість досліджень, присвячених забрудненню ґрунтів важкими металами, питання порівняльної оцінки впливу різних типів антропогенних чинників за однакових ґрунтово-лісорослинних умов залишаються недостатньо висвітленими. Особливо важливим є аналіз динаміки рухомих форм металів після екстремальних подій, таких як лісові пожежі, та їх співставлення з впливом хронічного транспортного навантаження.

Мета, завдання та методика проведення досліджень. Метою дослідження є порівняльна оцінка вмісту рухомих форм Cu, Zn, Pb і Cd у лісових ґрунтах з різним рівнем антропогенного навантаження та встановлення особливостей їх просторової і часової динаміки.

Роботи проводили на ділянках лісу у межах суборів південно-східної частини Волинського Полісся (табл. 1).

Таблиця 1

Координати розміщення та характеристика досліджуваних ділянок лісу

Ділянка	Географічні координати	Характер антропогенного навантаження
Д1	50°54'24.6"N 26°29'45.5"E	Вплив автотраси та рекреації
Д2	50°50'44.4"N 26°56'30.0"E	Після лісової пожежі середньої інтенсивності
Д3	50°47'53.0"N 27°03'58.4"E	Непорушений лісовий масив

Ділянка № 1 (Д1) розміщена у приавтодорожній смузі. На ній облаштовано місця для пікніків, фіксуються порушення та трансформація лісової підстилки, наявні осередки несанкціонованого накопичення побутових відходів, сліди розведення багаття та інші характерні зміни природного стану лісу внаслідок рекреаційного навантаження. Ділянка № 2 (Д2) – лісова територія, що зазнала пожежі середньої інтенсивності. Ділянка № 3 (Д3) являє собою непорушений лісовий масив у межах лісництва, що не зазнавав впливу антропогенного навантаження.

Всі досліджувані ділянки мають дерново-середньопідзолистий поверхнево-оглеєний суглинковий тип ґрунту із розрідженим деревостаном. Деревостан сформований переважно сосновими насадженнями з природно сформованим листяним підліском. Тип лісорослинних умов В2 – свіжі субори. Дослідження проводились у першій декаді червня впродовж 2022–2025 рр.

Проби відбирали у верхньому гумусовому горизонті (0–10 см), після попереднього видалення лісової підстилки. На кожній ділянці формували об'єднану (комполітну) пробу шляхом змішування 5–7 точкових проб, відібраних методом «конверта» на площі 10х10 м для забезпечення репрезентативності. Відбір здійснювали за допомогою нержавіючого ґрунтового бура та пластикового інструментарію, що попередньо очищувався для запобігання вторинному забрудненню. Кожну комполітну пробу поміщали у чисті поліетиленові пакети з наступним герметичним зав'язуванням. Кожен пакет із пробю маркували, зазначали номер ділянки, дату та координати відбору [8].

Зразки транспортували до лабораторії в день відбору, уникаючи їх механічного пошкодження та впливу атмосферних опадів. До початку аналітичних досліджень проби готували при кімнатній температурі в сухому приміщенні шляхом повітряного висушування до

повітряно-сухого стану. З висушеного ґрунту видаляли рослинні рештки. Далі ґрунт просіювали через сито з діаметром отворів 1 мм.

Визначення вмісту важких металів проводилось у лабораторії Рівненського регіонального центру ДУ «Держґрунтохорона» Державної установи «Інститут охорони ґрунтів України» Міністерства аграрної політики та продовольства України. Вміст рухомих форм важких металів (Cu, Zn, Pb, Cd) у ґрунтових зразках визначали після екстракції ацетатно-амонійним буферним розчином (рН 4,8), який широко застосовують для оцінки потенційно біодоступної (мобільної) фракції металів у ґрунтах.

У роботі спиралися на ГДК рухомих форм важких металів у ґрунті: Cu – 3,0 мг/кг, Zn – 23,0 мг/кг, Pb – 6,0 мг/кг, Cd – 0,7 мг/кг [9].

Виклад основного матеріалу дослідження. Аналіз результатів 2022 року засвідчив відмінності у концентраціях рухомих форм металів залежно від типу антропогенного впливу (рис. 1).

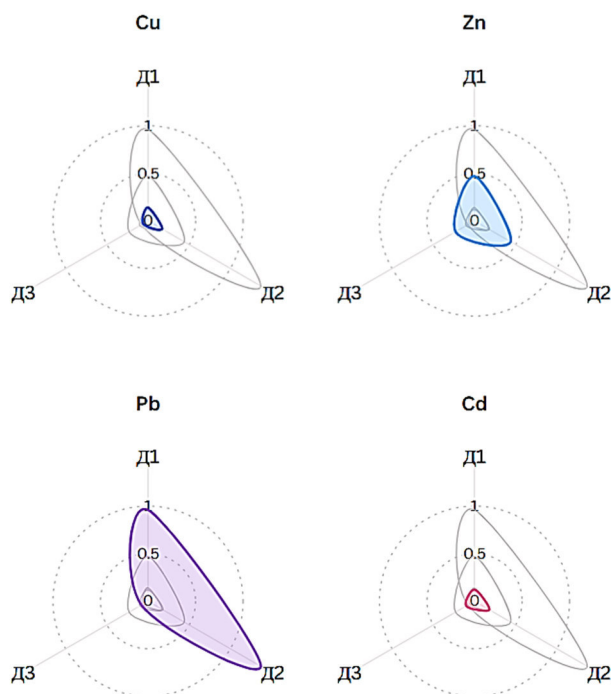


Рис. 1. Вміст рухомих форм важких металів у ґрунті на досліджуваних ділянках лісу, 2022 р.

Найвищі значення Pb та Cd встановлено на постпожежній ділянці (Д2). Зокрема, вміст Pb становив 1,37 мг/кг, вміст Cd – 0,18 мг/кг. Одночасно, на цій ділянці відмічався відносно підвищений

вміст Zn на рівні 0,44 мг/кг та вміст Cu на рівні 0,17 мг/кг. Припускаємо, що це може бути пов'язано з термічною трансформацією органічної речовини, акумуляцією металів у золі та порушенням органо-мінеральних зв'язків. На рекреаційній ділянці поблизу автомобільної траси (Д1) зафіксовано підвищений вміст свинцю – 0,96 мг/кг (Cd – 0,12 мг/кг, Zn – 0,47 мг/кг, Cu – 0,14 мг/кг), що свідчить про вплив транспортних викидів і атмосферного осадження. Контрольна ділянка (№3) характеризувалася фоновими показниками: Cu – 0,06 мг/кг, Zn – 0,23 мг/кг, Pb – 0,08 мг/кг, Cd – 0,10 мг/кг, що відображає природний геохімічний рівень для даного типу ґрунтів.

Аналіз результатів 2025 року засвідчив зміну просторової структури розподілу рухомих форм важких металів порівняно з 2022 роком (рис. 2).

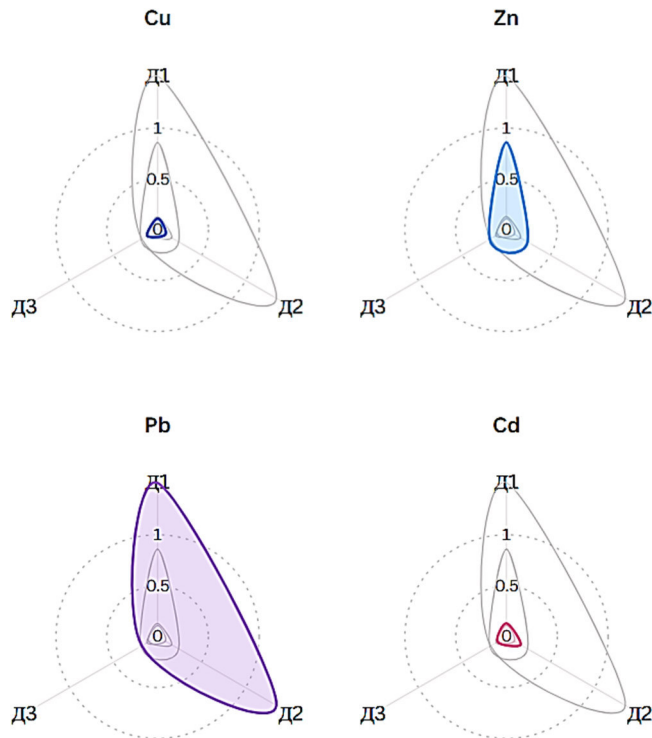


Рис. 2. Вміст рухомих форм важких металів у ґрунті на досліджуваних ділянках лісу, 2025 р.

Найвищі концентрації свинцю зафіксовано на рекреаційній ділянці поблизу автомобільної траси (Д1), зокрема вміст Pb становив

1,51 мг/кг, що відповідає помірному рівню забруднення. Одночасно тут було відмічено зростання вмісту Zn до 0,86 мг/кг, тоді як вміст Cu залишалися в межах фонового та слабкого рівнів (0,11 мг/кг та 0,13 мг/кг відповідно). Припускаємо, що такий вміст рухомих форм елементів може свідчити про кумулятивний характер транспортного впливу.

На постпожежній ділянці (Д2) через три роки після пожежі спостерігалось зниження концентрацій більшості досліджуваних металів. Зокрема, вміст Cu становив 0,09 мг/кг, Zn – 0,24 мг/кг, Pb – 1,35 мг/кг, Cd – 0,16 мг/кг. Порівняно з 2022 роком, вміст Zn зменшився майже вдвічі, а Cu у 1,9 раза. Тоді як Pb і Cd залишилися на близькому рівні, що може свідчити про поступову стабілізацію постпожежних геохімічних процесів та перерозподіл металів у ґрунтовому профілі.

Контрольна ділянка (Д3) зберегла фонові значення. Зокрема, вміст Cu становив 0,12 мг/кг, Zn – 0,19 мг/кг, Pb – 0,18 мг/кг, Cd – 0,10 мг/кг. Очевидно, що такі рівні вмісту елементів підтверджують відсутність істотного антропогенного впливу та природні особливості вмісту концентрацій металів.

Аналіз результатів 2025 року показав, що вміст рухомих форм Cu, Zn, Pb і Cd на всіх дослідних ділянках не перевищував ГДК, однак зберігалися чіткі просторові відмінності, пов'язані з характером антропогенного впливу (рис. 3).

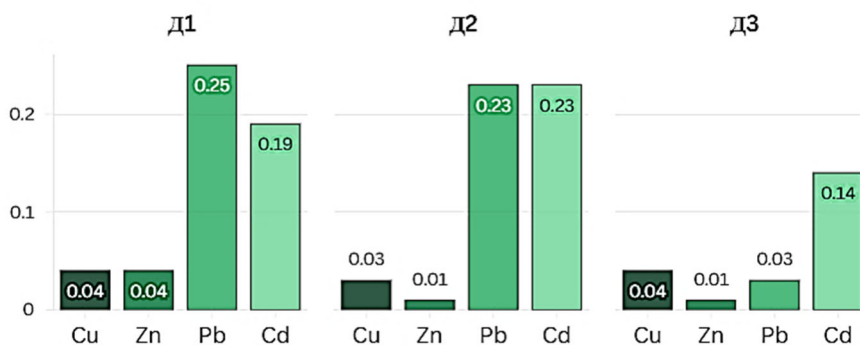


Рис. 3. Рівні рухомих форм важких металів відносно ГДК у ґрунті на досліджуваних ділянках, 2025 р.

На рекреаційній ділянці поблизу автомобільної траси (Д1) зафіксовано максимальні значення Pb на рівні 1,51 мг/кг, що становить 0,25 ГДК, а також підвищений відносно інших ділянок Zn на рівні 0,86 мг/кг, що відповідало 0,04 ГДК. Концентрації Cu на рівні 0,11 мг/кг відповідали 0,04 ГДК, а Cd на рівні 0,13 мг/кг – 0,19 ГДК.

Хоча на цій ділянці всі елементи залишалися в межах допустимого рівня, проте для Pb і Cd простежується тенденція до кумуляції у приавтодорожній смузі.

На постпожежній ділянці (Д2) через три роки після пожежі концентрації становили: Cu – 0,09 мг/кг, що відповідало 0,03 ГДК; Zn – 0,24 мг/кг, що відповідало 0,01 ГДК; Pb – 1,35 мг/кг, що відповідало 0,23 ГДК; Cd – 0,16 мг/кг, що відповідало 0,23 ГДК. Отже, за відсутності перевищень нормативів зберігається відносно підвищений рівень Pb і Cd, що може свідчити про тривалі постпожежні ефекти перерозподілу металів у ґрунтовому профілі та їх часткову стабілізацію або міграцію.

Контрольна ділянка (Д3) характеризувалася найнижчими відносними значеннями рухомих форм важких металів. Так, вміст Cu на рівні 0,12 мг/кг відповідав 0,04 ГДК, Zn на рівні 0,19 мг/кг – 0,01 ГДК, Pb на рівні 0,18 мг/кг – 0,03 ГДК, Cd на рівні 0,10 мг/кг – 0,14 ГДК. Очевидно, що така ситуація відповідає природному геохімічному фону для цього типу ґрунту.

Висновки. Порівняльний аналіз вмісту рухомих форм Cu, Zn, Pb і Cd у лісових ґрунтах за однакових ґрунтово-лісорослинних умов показав, що характер антропогенного навантаження суттєво впливає на їх концентрації та динаміку. У 2022 році на постпожежній ділянці зафіксовано максимальні значення Pb (1,37 мг/кг) і Cd (0,18 мг/кг), що відображає короткочасне зростання мобільності металів після пожежі. У 2025 році на цій ділянці відмічено зниження Cu (0,09 мг/кг) і Zn (0,24 мг/кг), що свідчить про поступову стабілізацію постпожежних процесів. Натомість на приавтодорожній рекреаційній ділянці простежено кумулятивний ефект транспортного впливу: у 2025 році підвищилися Pb до 1,51 мг/кг та Zn до 0,86 мг/кг порівняно з 2022 роком. Контрольна ділянка зберігала фонові значення протягом усього періоду спостережень, підтверджуючи визначальну роль зовнішніх факторів у формуванні підвищених концентрацій металів. Загалом у 2022–2025 рр. вміст рухомих форм Cu, Zn, Pb і Cd не перевищував нормативних значень, однак виявлені відмінності підкреслюють необхідність довготривалого моніторингу приавтодорожніх і постпожежних лісових територій.

1. Lu Q., Wang S., Bai X., Liu F., et al. Quantitative assessment of human health risks under different land uses based on soil heavy metal pollution sources. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2020. P. 1–17. URL: <https://doi.org/10.1080/10807039.2019.1710811>. 2. González-Pérez J. A., González-

Vila F. J., Almendros G., et al. The effect of fire on soil organic matter—a review. *Environment International*. 2004. Vol. 30, no. 6. P. 855–870. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.02.003>. **3.** González H., Ocaña C. L., Cubas J. A., et al. Impact of forest fire severity on soil physical and chemical properties in pine and scrub forests in high Andean zones of Peru. *Trees, Forests and People*. 2024. Vol. 18. P. 100659. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100659>. **4.** Zhu Z., Ma Y., Tigabu M., et al. Effects of forest fire smoke deposition on soil physico-chemical properties and bacterial community. *Science of The Total Environment*. 2024. Vol. 909. P. 168592. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168592>. **5.** Poirier V., Paré D., Boiffin J., et al. Combined influence of fire and salvage logging on carbon and nitrogen storage in boreal forest soil profiles. *Forest Ecology and Management*. 2014. Vol. 326. P. 133–141. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.04.021>. **6.** Yang J., Zhao Y., Ruan X., et al. Anthropogenic Contribution and Migration of Soil Heavy Metals in the Vicinity of Typical Highways. *Agronomy*. 2023. Vol. 13, no. 2. P. 303. URL: <https://doi.org/10.3390/agronomy13020303>. **7.** Khalid Farooq A., Wiliam HG H., Alistair D., Headley and Mohammad A. Heavy Metal Contamination of Roadside Soils of Northern England. *Soil and Water Research*. 2013. Vol. 1, No. 4. P. 158–163. URL: <https://doi.org/10.17221/6517-swr>. **8.** ДСТУ ISO 10381-4:2005. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 4. Настанови щодо процедури дослідження природних, майже природних та оброблюваних ділянок (ISO 10381-4:2003, IDT). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=52991 (дата звернення: 22.02.2026). **9.** Про затвердження Гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті : наказ Міністерства охорони здоров'я України від 14.07.2020 № 1595. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0722-20#Text> (дата звернення: 22.02.2026).

REFERENCES:

1. Lu Q., Wang S., Bai X., Liu F., et al. Quantitative assessment of human health risks under different land uses based on soil heavy metal pollution sources. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2020. P. 1–17. URL: <https://doi.org/10.1080/10807039.2019.1710811>. **2.** González-Pérez J. A., González-Vila F. J., Almendros G., et al. The effect of fire on soil organic matter—a review. *Environment International*. 2004. Vol. 30, no. 6. P. 855–870. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.02.003>. **3.** González H., Ocaña C. L., Cubas J. A., et al. Impact of forest fire severity on soil physical and chemical properties in pine and scrub forests in high Andean zones of Peru. *Trees, Forests and People*. 2024. Vol. 18. P. 100659. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100659>. **4.** Zhu Z., Ma Y., Tigabu M., et al. Effects of forest fire smoke deposition on soil physico-chemical properties and bacterial community. *Science of The Total Environment*. 2024. Vol. 909. P. 168592. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168592>. **5.** Poirier V., Paré D., Boiffin J., et al. Combined influence of fire and salvage logging on carbon and nitrogen storage in boreal forest soil profiles. *Forest Ecology and Management*. 2014. Vol. 326. P. 133–141. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.04.021>. **6.** Yang J., Zhao Y., Ruan X., et al. Anthropogenic Contribution and Migration of Soil Heavy Metals in the Vicinity of Typical Highways. *Agronomy*. 2023. Vol. 13, no. 2. P. 303. URL: <https://doi.org/10.3390/agronomy13020303>. **7.** Khalid Farooq A., Wiliam HG H., Alistair D., Headley and Mohammad A. Heavy Metal Contamination of Roadside Soils of Northern England. *Soil and Water Research*. 2013. Vol. 1, No. 4. P. 158–163. URL: <https://doi.org/10.17221/6517-swr>.

<https://doi.org/10.17221/6517-swr>. **8.** DSTU ISO 10381-4:2005. Yakist gruntu. Vidbyrannia prob. Chastyna 4. Nastanovy shchodo protsedury doslidzhennia pryrodnykh, maizhe pryrodnykh ta obroblivanykh dilianok (ISO 10381-4:2003, IDT). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=52991 (data zvernennia: 22.02.2026). **9.** Pro zatverdzhennia Hihiiienichnykh rehlementiv dopustymoho vmistu khimichnykh rehovyn u grunti : nakaz Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy vid 14.07.2020 № 1595. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0722-20#Text> (data zvernennia: 22.02.2026).

Tsipan Yu. R. [1; ORCID ID: 0000-0001-7279-7416],
Senior Lecturer, Post-graduate Student

¹*National University of Water and Environmental Engineering, Rivne*

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE CONTENT OF MOBILE FORMS OF HEAVY METALS IN FOREST SOILS WITH DIFFERENT LEVELS OF ANTHROPOGENIC LOAD

The article presents the results of a comparative assessment of the content of mobile forms of heavy metals (Cu, Zn, Pb, Cd) in forest soils exposed to different levels and types of anthropogenic load. The study was carried out at three sites with identical soil type and forest-growing conditions, which enabled minimizing natural variability and focusing on the impact of external factors. Site No. 1 is located within a recreational zone near a highway and is subject to constant transport and human pressure. Site No. 2 represents a forest area affected by a medium-intensity wildfire that occurred one month prior to the first sampling campaign. Site No. 3, located within forest land and with little anthropogenic influence, was used as a control site. Soil samples were collected from the upper humus horizon (0–10 cm) after removing the forest litter layer. The determination of mobile metal forms was performed using extraction with an acetate-ammonium buffer solution (pH 4.8), followed by instrumental analytical measurements.

The results revealed clear spatial and temporal differences in metal concentrations. In 2022, the highest levels of Pb (1.37 mg/kg) and Cd (0.18 mg/kg) were recorded at the post-fire site, reflecting short-term post-fire effects associated with the combustion of organic matter, ash accumulation, and disruption of organo-mineral complexes. Three years later, a decrease in Cu and Zn content at this site indicated gradual stabilization and redistribution of metals within the soil profile during ecosystem recovery. In contrast, the roadside site demonstrated increasing Pb (up to 1.51 mg/kg) and Zn (0.86 mg/kg) concentrations in 2025, confirming the cumulative and long-

term character of traffic-related pollution. The control site maintained stable background values throughout the study period.

Although the concentrations of mobile forms of Cu, Zn, Pb, and Cd in both years did not exceed established maximum permissible levels, the detected differences highlight the contrasting influence of extreme (wildfire) and chronic (transport) anthropogenic factors on heavy metal mobility in forest soils. The findings confirm the suitability of mobile metal fractions as sensitive indicators of ecological changes and emphasize the importance of long-term environmental monitoring in post-fire and roadside forest ecosystems.

Keywords: forest; soil; mobile forms of heavy metals; monitoring.

Отримано / Received: 23.02.2026

Прийнято до друку / Accepted: 03.03.2026

Опубліковано / Published: 27.03.2026



© 2026 [Tsipan Yu. R.]. Licensee {NUWEE}. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org)

Яценко Л. А. [1; ORCID ID: 0000-0003-1407-0133],

к.с.-г.н., доцент,

Колесник Т. М. [1; ORCID ID: 0000-0002-2637-7733],

к.с.-г.н., доцент,

Андрущук О. О. [2; ORCID ID: 0009-0004-6495-6500]

к.с.-г.н., провідний науковий співробітник,

Злотенко О. Ю. [2; ORCID ID: 0009-0004-6788-4557]

молодший науковий співробітник

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

²Інститут сільського господарства Західного Полісся НААН, с. Шубків

СЕЛЕКЦІЙНА ОЦІНКА ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СОРТОВОГО СКЛАДУ ЯЧМЕНЮ ОЗИМОГО ЗА РІЗНИХ РІВНІВ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ В УМОВАХ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ

Досліджено вплив інтенсивності технології вирощування на продуктивність і морфометричні показники сортів ячменю озимого (*Hordeum vulgare* L.) в умовах Західного Лісостепу України. Польові дослідження проводилися на чорноземі опідзоленому за спрощеної та інтенсивної технології вирощування культури з різними системами удобрення, захисту та стимуляції росту. Досліджували сорти української (Достойний, Дев'ятий вал, Валькірія, Снігова королева) та іноземної (Тітус) селекції.

Результати показали, що інтенсивна технологія забезпечувала вищу врожайність (5,07–8,19 т/га) порівняно зі спрощеною (4,46–6,39 т/га), а ефективність реалізації потенціалу сортів значною мірою залежала від генотипу. Найбільшу густоту продуктивного стеблостою формував Тітус, а максимальну озерненість – Валькірія. Сорт Валькірія демонстрував гармонійне поєднання всіх елементів урожайності, Тітус – інтенсивний тип формування врожаю через продуктивне кушення. Дев'ятий вал і Достойний проявили адаптивність і чутливість до підвищеного агрофону. Морфометричні показники рослин змінювалися залежно від сорту і технології, що підтверджує їхню генотип- та агротехнічно залежну реакцію. Дані підтверджують необхідність диференційованого підбору сортів для різного рівня інтенсифікації технології вирощування та підкреслюють роль мінерального живлення у реалізації генетичного потенціалу сортів.

Ключові слова: ячмінь озимий; продуктивність сорту; структурні

елементи; інтенсивність технології; мінеральне живлення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ячмінь озимий (*Hordeum vulgare* L.) є однією з традиційних і економічно значущих зернових культур України. Його висока популярність обумовлена раннім досяганням, стабільною та високою врожайністю, стійкістю до посухи, а також можливістю ефективного використання післяжнивного періоду. Зерно озимого ячменю характеризується високим вмістом білка (до 12%) та значним вмістом вуглеводів (понад 75%), а також має високу енергетичну цінність, що забезпечує його придатність для використання у фуражних, продовольчих та пивоварних цілях [1].

Водночас ефективна реалізація продуктивного потенціалу культури значною мірою залежить від взаємодії сорту та технології вирощування. Застосування інтенсивних агротехнічних прийомів, зокрема систем удобрення, захисту та стимуляції росту, дозволяє підвищувати врожайність і покращувати якість зерна, проте реакція різних генотипів на підвищений агрофон істотно різниться. Це визначає актуальність селекційної оцінки та оптимізації сортового складу озимого ячменю залежно від рівня інтенсифікації технології вирощування для досягнення стабільних і високих урожаїв у Західному Лісостепу України.

Ефективне вирощування озимого ячменю потребує гармонійного поєднання сортових особливостей із агротехнічними прийомами, адаптованими до конкретних ґрунто-кліматичних умов [2]. Реакція культури на елементи технології вирощування є ключовим чинником, що визначає рівень реалізації її генетичного потенціалу продуктивності, якість зерна та економічну ефективність виробництва

Особливу роль відіграє система живлення, зокрема азотне удобрення, яке визначає рівень урожайності та білковість зерна. Озимий ячмінь добре реагує на внесення азоту в ранньовесняний період, особливо у фазі кушіння та виходу в трубку. За результатами польових досліджень, оптимальні дози азоту (60–90 кг/га д.р.) сприяють формуванню більшої кількості продуктивних стебел, підвищують масу 1000 зерен та вміст білка [3].

Водночас надлишок азоту може призвести до вилягання, зниження натурної маси та погіршення хлібопекарських властивостей зерна [6]. Дослідження Mittermayer та ін. [4] присвячене оптимізації використання азоту в озимому ячмені показали, що збалансоване внесення азоту (з урахуванням фаз розвитку) підвищує ефективність його використання та врожайність, водночас знижуючи ризик

влягання. Оскільки сорти озимого ячменю відрізняються за сприйнятливістю до азотного живлення, тому підбір має враховувати їхню реакцію на систему удобрення.

Фосфорні та калійні добрива забезпечують розвиток кореневої системи, підвищують стійкість рослин до стресових факторів та сприяють наливу зерна. Їх внесення до сівби або в підживлення дозволяє покращити структуру врожаю та забезпечити рівномірне досягання [5]. Додаткове застосування мікродобрив (бор, марганець, цинк) позитивно впливає на фотосинтетичну активність, стійкість до хвороб та якість зерна [6].

Фітосанітарний стан агрофітоценозу також є важливим елементом технології. Озимий ячмінь чутливий до комплексу хвороб таких як борошниста роса, сітчаста плямистість, ринхоспоріоз, піренофороз, які можуть істотно знижувати врожайність і якість зерна [7]. Застосування фунгіцидів у критичні фази розвитку (вихід у трубку, колосіння) дозволяє зберегти продуктивний потенціал рослин. Вибір сорту зі стійкістю до основних патогенів є додатковим фактором стабільності виробництва.

Таким чином, озимий ячмінь є культурою, яка добре реагує на оптимізацію технологічних елементів. Висока реакція на строки сівби, норму висіву, систему живлення та захист від хвороб дозволяє формувати стабільно високі врожаї та забезпечувати якісні показники зерна. Умови Західного Лісостепу потребують ретельного підбору сортів і адаптації технології вирощування до локальних особливостей, що є запорукою ефективного виробництва.

Метою дослідження було оцінити продуктивність і морфометричні показники сортів ячменю озимого різного генотипу за умов різного рівня інтенсивності технології вирощування та визначити сорти, які оптимально реалізують свій генетичний потенціал у Західному Лісостепу України.

Методика досліджень. Польові дослідження проведені в Інституті сільського господарства Західного Полісся. Ґрунт – чорнозем опідзолений на лесі. Попередник – кукурудза на зерно. Площа облікової ділянки – 25 м², повторність – чотириразова.

Культуру вирощували за двома технологіями. Спрощена включала систему удобрення: N₅₀ у фазу кущення, систему захисту: протруйник, гербіцид + фунгіцид у фазу кушіння.

Інтенсивна включала систему удобрення: $N_{60}P_{60}K_{90}$, із них $N_{30}P_{60}K_{90}$ під культивацію, N_{30} у фазу кущення, систему захисту: протруйник + мікродобриво + стимулятор росту – обробка насіння; гербіцид + фунгіцид + ретардант + мікродобриво + стимулятор росту в фазу кущення; фунгіцид + мікродобриво + стимулятор росту – по прапорцевому листку; інсектицид за потребою.

Для порівняння реакції ячменю озимого на технології вирощування були обрані сорти української селекції від Селекційно-генетичного інституту «Національного центру насіннізнавства та сортовивчення» (СГІ-НЦНС, Україна) та сорт Тітус іноземної селекції (Заатен-Уніон ГмбХ, Німеччина), які включені до Реєстру сортів рослин Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні.

Результати досліджень та обговорення. На формування продуктивності та якості зерна ячменю озимого значний вплив мали як погодні умови, так і агротехнічні прийоми, зокрема рівень інтенсифікації технології вирощування. Відомо, що мінеральне живлення істотно впливає на врожайність і структуру продуктивності ячменю у Західному Лісостепу України, зокрема на кількість продуктивних стебел, кількість зерен у колосі та масу зерна з колоса, що є ключовими компонентами врожаю культури [8].

Аналіз урожайних даних продемонстрував, що за спрощеної технології середня врожайність становила 4,46–6,39 т/га, тоді як за інтенсивної технології вона була суттєво вищою 5,07–8,19 т/га, що підтверджує реакцію ячменю озимого на підвищене забезпечення мінеральними елементами. Подібні закономірності спостерігалися і в інших дослідженнях, де застосування оптимальної мінеральної дози удобрення, зокрема азотного, забезпечувало збільшення продуктивності за рахунок покращення елементів урожайності, зокрема більшої кількості зерен на одиницю площі та кращої продуктивності сорту на фоні добрив [9].

Найбільш скоростиглим виявився сорт Достойний, найбільш пізньостиглим був сорт іноземної селекції Тітус.

Аналіз урожайних даних показує, що у середньому за спрощеної технології одержано намолот зерна 4,46–6,39 т/га, за інтенсивної 5,07–8,19 т/га.

У сортовому аспекті виявлено, що серед вітчизняної селекції найвищу продуктивність показали сорти Дев'ятий вал (5,92–6,39 т/га) та Валькірія (6,21–7,38 т/га). За спрощеної технології їхні врожайності практично не відрізнялися від показників сорту Тітус. Однак, за інтенсивної технології Тітус (8,19 т/га) переважав сорти української селекції за насиченого рівня удобрення.

Таблиця 1

 Урожайність сортів озимого ячменю за різної інтенсифікації
технології вирощування

Сорт (фактор А)	Технологія (фактор Б)	Урожайність, т/га	Приріст урожаю, т/га	
			до сорту*	до технології**
Снігова королева*	спрощена**	4,46	–	–
	інтенсивна	5,07	–	0,61
Достойний	спрощена	4,53	0,07	–
	інтенсивна	5,04	-0,03	0,51
Дев'ятий вал	спрощена	5,92	1,46	–
	інтенсивна	6,39	1,32	0,47
Валькірія	спрощена	6,21	1,75	–
	інтенсивна	7,38	2,31	1,17
Тітус	спрощена	6,39	1,93	–
	інтенсивна	8,19	3,12	1,80

НІР ₀₅ , т/га	фактор А	0,18
	фактор Б	0,15
	фактор АБ	0,26

Приріст між технологіями для Валькірія і Тітус відповідно становив 1,17 і 1,80 т/га, що відносить дані сорти до інтенсивного типу. Така закономірність розподілу урожайності вказує на різну реакцію генотипів на рівень агрофону, що також підкреслюється в міжнародних дослідженнях [10; 11].

Морфометричні показники досліджуваних сортів свідчать про варіабельність ростових реакцій на рівень технології (табл. 2).

Висота рослин залежно від сорту та технології варіювала в межах 71,8–99,4 см за спрощеної та 74,7–96,2 см за інтенсивної технології. Найнижчі рослини формував сорт Снігова королева (71,8–74,7 см), що свідчить про його кращу потенційну стійкість до вилягання. Найвищим був сорт Дев'ятий вал (96,2–99,4 см), що характеризує його як високорослий генотип з інтенсивним ростом. Слід відмітити, що через значне вилягання рослин сорту Достойний за інтенсивної технології додатковий приріст був на рівні 0,51 т/га і дещо поступався урожайності контрольного сорту Снігова королева.

Інтенсивна технологія, яка включала застосування ретардантів, неоднозначно впливала на висоту рослин: у сортів Достойний,

Дев'ятий вал та Валькірія спостерігалося певне зниження висоти, тоді як у сортів Снігова королева і Тітус відмічено незначне її збільшення.

Таблиця 2

Морфометричні показники сортів озимого ячменю залежно від рівня інтенсифікації технології вирощування

Сорт (фактор А)	Технологія (фактор Б)	Висота рослин, см	Довжина колоса, см
Снігова королева	спрощена	71,8	6,1
	інтенсивна	74,7	6,3
Достойний	спрощена	87,1	6,2
	інтенсивна	83,6	6,5
Дев'ятий вал	спрощена	99,4	6,8
	інтенсивна	96,2	7,6
Валькірія	спрощена	89,8	5,6
	інтенсивна	87,0	6,6
Тітус	спрощена	83,6	6,0
	інтенсивна	85,6	6,5

Довжина колоса зростала за інтенсивної технології у всіх сортів. Найбільший показник сформував сорт Дев'ятий вал (7,6 см), що могло спричинити посилене вилягання. Істотне збільшення довжини колоса як до контрольного сорту так і технології визначено у сортів Валькірія та Тітус.

Отримані у досліді результати узгоджуються з даними польових експериментів, які фіксують зміну морфологічних ознак у відповідь на агротехнологічні прийоми, включаючи удобрення та регуляцію росту [12].

Проведені дослідження засвідчили виражену сортову реакцію ячменю озимого на рівень інтенсифікації технології вирощування в умовах Західного Лісостепу України (табл. 3). Підвищення агрофону забезпечило зростання основних елементів структури врожайності в усіх сортів, однак ступінь реалізації потенціалу істотно різнився залежно від генотипу.

Формування густоти продуктивного стеблостою найбільш інтенсивно відбувалося у сорту Тітус, який реалізував урожайність переважно за рахунок високої кущистості та продемонстрував найвищу чутливість до покращення умов вирощування. Значну реакцію на інтенсифікацію також виявили сорти Достойний і Валькірія. Кількість продуктивних стебел між технологіями зросла на 64 і 59 шт./м². Водночас Снігова королева характеризувалася

помірним приростом цього показника, що свідчить про відносну стабільність формування стеблостою.

Таблиця 3

Структура врожайності сортів озимого ячменю залежно від рівня інтенсивності технології вирощування

Сорт (фактор А)	Технологія (фактор Б)	Кількість продуктивних стебел, шт./м ²	Кількість зерен у колосі, см	Маса зерна з колоса, г
Снігова королева	спрощена	496	41,9	1,55
	інтенсивна	530	43,5	1,66
Достойний	спрощена	495	33,3	1,34
	інтенсивна	559	35,4	1,45
Дев'ятий вал	спрощена	568	38,1	1,46
	інтенсивна	622	39,7	1,55
Валькірія	спрощена	609	41,9	1,52
	інтенсивна	668	45,2	1,65
Тітус	спрощена	904	32,4	1,05
	інтенсивна	1068	33,4	1,19

За показником озерненості колоса найбільш повно реалізував потенціал сорт Валькірія, який поєднував високу кількість зерен (41,9–45,2 шт.) із позитивною реакцією на інтенсивну технологію. Натомість Тітус формував меншу озерненість (32,4–33,4 шт.), компенсуючи її підвищеною густиною продуктивних стебел. Зростання маси зерна з колоса на 0,13–0,14 г за інтенсивної технології найбільш виражено проявилось у сортів Тітус і Валькірія, що свідчить про їх здатність ефективно використовувати покращені умови живлення під час наливу зерна. Отримані результати узгоджуються з загальною агрономічною закономірністю, що підвищене забезпечення поживними речовинами сприяє кращій реалізації генетичного потенціалу сортів, але ефективність цієї реалізації змінюється залежно від генотипу та умов вирощування [13].

Висновки. Отримані результати підтверджують необхідність диференційованого підходу до добору сортів ячменю озимого залежно від інтенсивності технології вирощування. Підвищення рівня удобрення забезпечило зростання врожайності озимого ячменю на 0,47–1,80 т/га залежно від сорту, що вказує на істотну роль мінерального живлення у реалізації генетичного потенціалу культури.

Найвищу продуктивність забезпечили сорти Валькірія (7,38 т/га) і Тітус (8,19 т/га), які відзначилися здатністю ефективно використовувати підвищений рівень живлення. З огляду на це, зазначені сорти доцільно рекомендувати для вирощування в умовах у Західному Лісостепу.

1. Забарна Т. А., Білецький О. В. Сортові ресурси та значення ячменю озимого у сільськогосподарському виробництві. *Таврійський науковий вісник. Сер. Сільськогосподарські науки*. 2024. № 138. С. 65–71. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.138.8>.
2. Гудзенко В. М., Васильківський С. П. Основні напрями та завдання селекції ячменю озимого у Центральному Лісостепу України. *Новітні агротехнології*. 2016. № 4. С. 3–4. [https://doi.org/10.21498/na.1\(4\).2016.118001](https://doi.org/10.21498/na.1(4).2016.118001).
3. Шестак В. Г. Біометричні аспекти і фенологічні етапи формування врожаю ячменю озимого під впливом удобрення та інгібітора нітрифікації. *Уманський НУС*. 2022. № 101 (1). <https://doi.org/10.32782/2415-8240-2022-101-1-28-46>.
4. Mittermayer M., Maidl F. X., Donauer J., Kimmelman S., Liebl J., Hülsbergen K. J. Optimizing nitrogen use efficiency and yield in winter barley: a three-year study of fertilization systems in southern Germany. *Applied Sciences*. 2025. № 15(1). P. 391. <https://doi.org/10.3390/app15010391>.
5. Azzawi W. A., Gill M. B., Fatehi F., Zhou M., Acuña T., Shabala L., Shabala S. Effects of potassium availability on growth and development of barley cultivars. *Agronomy*. 2021. № 11(11). P. 2269. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112269>.
6. Шкатула Ю. М., Барський Д. О. Урожайність озимого ячменю залежно від системи удобрення. *Сільське господарство та лісівництво*. 2021. № 21. С. 82–94. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-2-7>.
7. Грицюк Н. В. Ефективність бакових сумішей проти комплексу шкідливої біоти в посівах ячменю ярого. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2025. № 47. С. 52–58. <https://orcid.org/0000-0002-4185-7495>.
8. Dudar I., Lytvyn O., Pavkovych S., Korpita H., Kozliuk O. Yield of winter barley depending on mineral nutrition. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Ser. Agronomy*. 2022. № (26). P. 72–76. <https://doi.org/10.31734/agronomy2022.26.072>.
9. Le Gouis J., Delebarre O., Beghin D., Heumez E., Pluchard P. Nitrogen uptake and utilisation efficiency of two-row and six-row winter barley cultivars grown at two N levels. *European Journal of Agronomy*. 1999. № 10 (2). С. 73–79. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(98\)00055-0](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(98)00055-0).
10. Bukowiecki J., Rose T., Kage H., Sieling K. Balancing economic and environmental goals in winter barley: the role of nitrogen timing and genotypes. *European Journal of Agronomy*. 2025. № 168. P. 127626. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127626>.
11. Sieling K., Kage H. Winter barley grown in a long-term field trial with a large variation in N supply: Grain yield, yield components, protein concentration and their trends. *European Journal of Agronomy*. 2022. № 136. P. 126505. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126505>.
12. Любич В. В., Сулима А. С. Урожайність та якість зерна ячменю озимого залежно від агротехнологічних заходів. *Збірник наукових праць Уманського національного університету*. 2025. Вип. 106. Ч. 1. С. 593–602. <https://doi.org/10.32782/2415-8240-2025-106-1-593-602>.
13. Демидов О. А., Васильківський С. П., Гудзенко В. М. Еколого-генетичні аспекти селекції ячменю озимого щодо підвищення його продуктивного та адаптивного потенціалу у Лісостепі України. *Агроекологічний журнал*. 2017. Вип. 2. С. 194–200. URL: <http://journalagroeco.org.ua/article/view/220293> (дата звернення: 22.02.2026).

REFERENCES:

1. Zabarna T. A., Biletskyi O. V. Sortovi resursy ta znachennia yachmeniu ozymoho u silskohospodarskomu vyrobnytstvi. *Tavriyskiy naukovyi visnyk. Ser. Silskohospodarski nauky*. 2024. № 138. S. 65–71. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.138.8>.
2. Hudzenko V. M., Vasylykivskiy S. P. Osnovni napriamy ta zavdannia selektsii yachmeniu ozymoho u Tsentralnomu Lisostepu Ukrainy. *Novitni ahrotekhnolohii*. 2016. № 4. S. 3–4. [https://doi.org/10.21498/na.1\(4\).2016.118001](https://doi.org/10.21498/na.1(4).2016.118001).
3. Shestak V. H. Biometrychni aspekty i fenolohichni etapy formuvannia vrozhaiu yachmeniu ozymoho pid vplyvom udobrennia ta inhibitora nitryfikatsii. *Umanskyi NUS*. 2022. № 101 (1). <https://doi.org/10.32782/2415-8240-2022-101-1-28-46>.
4. Mittermayer M., Maidl F. X., Donauer J., Kimmelmann S., Liebl J., Hülsbergen K. J. Optimizing nitrogen use efficiency and yield in winter barley: a three-year study of fertilization systems in southern Germany. *Applied Sciences*. 2025. № 15(1). P. 391. <https://doi.org/10.3390/app15010391>.
5. Azzawi W. A., Gill M. B., Fatehi F., Zhou M., Acuña T., Shabala L., Shabala S. Effects of potassium availability on growth and development of barley cultivars. *Agronomy*. 2021. № 11(11). P. 2269. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112269>.
6. Shkatula Yu. M., Barskyi D. O. Urozhainist ozymoho yachmeniu zalezno vid systemy udobrennia. *Silke hospodarstvo ta lisivnytstvo*. 2021. № 21. S. 82–94. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-2-7>.
7. Hrytsiuk N. V. Efektyvnist bakovykh sumishei proty kompleksu shkidlyvoi bioty v posivakh yachmeniu yaroho. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika*. 2025. № 47. S. 52–58. <https://orcid.org/0000-0002-4185-7495>.
8. Dudar I., Lytvyn O., Pavkovych S., Korpita H., Kozliuk O. Yield of winter barley depending on mineral nutrition. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Ser. Agronomy*. 2022. № (26). P. 72–76. <https://doi.org/10.31734/agronomy2022.26.072>.
9. Le Gouis J., Delebarre O., Beghin D., Heumez E., Pluchard P. Nitrogen uptake and utilisation efficiency of two-row and six-row winter barley cultivars grown at two N levels. *European Journal of Agronomy*. 1999. № 10 (2). C. 73–79. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(98\)00055-0](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(98)00055-0).
10. Bukowiecki J., Rose T., Kage H., Sieling K. Balancing economic and environmental goals in winter barley: the role of nitrogen timing and genotypes. *European Journal of Agronomy*. 2025. № 168. P. 127626. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127626>.
11. Sieling K., Kage H. Winter barley grown in a long-term field trial with a large variation in N supply: Grain yield, yield components, protein concentration and their trends. *European Journal of Agronomy*. 2022. № 136. P. 126505. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126505>.
12. Liubych V. V., Sulyma A. S. Urozhainist ta yakist zerna yachmeniu ozymoho zalezno vid ahrotekhnolohichnykh zakhodiv. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho natsionalnoho universytetu*. 2025. Vyp. 106. Ch. 1. S. 593–602. <https://doi.org/10.32782/2415-8240-2025-106-1-593-602>.
13. Demydov O. A., Vasylykivskiy S. P., Hudzenko V. M. Ekoloho-henetychni aspekty selektsii yachmeniu ozymoho shchodo pidvyshchennia yoho produktyvnoho ta adaptivnoho potentsialu u Lisostepi Ukrainy. *Ahroekolohichni zhurnal*. 2017. Vyp. 2. S. 194–200. URL: <http://journalagroeco.org.ua/article/view/220293> (data zvernennia: 22.02.2026).

Yashchenko L. A. [1; ORCID ID: 0000-0003-1407-0133],
Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Kolesnyk T. M. [1; ORCID ID: 0000-0002-2637-7733],
Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Androshchuk O. O. [2; ORCID ID: 0009-0004-6495-6500]
Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Leading Researcher,
Zlotenko O. Yu. [2; ORCID ID: 0009-0004-6788-4557]
Junior Research Fellow

¹National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

²Institute of Agriculture of Western Polissia of NAAS, Shubkiv

BREEDING ASSESSMENT AND OPTIMIZATION OF WINTER BARLEY CULTIVAR COMPOSITION UNDER DIFFERENT LEVELS OF CULTIVATION INTENSITY IN THE WESTERN FOREST-STEPPE

The influence of cultivation intensity on the productivity and morphometric traits of winter barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars was studied under the conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine. Field experiments were conducted on an automorphic gray forest soil using simplified and intensive cultivation technologies, differing in fertilization, protection, and growth stimulation systems. The study included Ukrainian cultivars (Dostoinyi, Deviatyi Val, Valkiriia, Snihova Koroleva) and a foreign cultivar (Titus).

Mineral nutrition significantly influenced yield structure, specifically productive stem count, grain number per spike, and grain weight per spike. Under simplified technology, productivity ranged from 4.46 to 6.39 t/ha, whereas intensive technology increased yields to 5.07–8.19 t/ha, confirming a strong response to enhanced mineral supply. The efficiency of realizing the cultivars' potential largely depended on the genotype.

Among domestic varieties, Deviatyi Val and Valkiriia showed the highest productivity (6.39 and 7.38 t/ha). The foreign cultivar Titus exhibited the most prominent intensive type, achieving 8.19 t/ha under high fertilization levels. Yield increments between technologies for Valkiriia and Titus reached 1.17 and 1.80 t/ha, indicating high adaptability to intensive backgrounds. Morphometric indicators showed significant variability; plant height ranged from 71.8 to 99.4 cm. Snihova Koroleva formed the shortest plants, suggesting better lodging resistance, while Deviatyi Val was identified as a tall-growing genotype. Spike length increased under intensification, with Deviatyi Val reaching 7.6 cm. Regarding yield structure, productive stem density was highest in Titus, reaching 1,068 stems/m² through high tillering. Valkiriia realized its potential through the number of grains per spike (up to 45.2 pieces). An increase in grain weight per spike by 0.13–0.14 g was most

pronounced in Titus and Valkiriia, demonstrating their ability to effectively utilize improved nutrition during grain-filling. Findings confirm the necessity of a differentiated approach to variety selection based on planned intensification levels in the Western Forest-Steppe.

Keywords: winter barley; cultivar productivity; yield components; technology intensity; mineral nutrition.

Отримано / Received: 01.03.2026
Прийнято до друку / Accepted: 15.03.2026
Опубліковано / Published: 27.03.2026



© 2026 [Yashchenko L. A., Kolesnyk T. M., Androshchuk O. O., Zlotenko O. Yu.].
Licensee {NUWEE}. This article is an open access article distributed under the
terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC
BY-NC) license (creativecommons.org)

УДК 631.6:504.06:338.1

<https://doi.org/10.31713/vs1202618>

Ярощук О. В. [1; ORCID ID: 0000-0002-1145-5049],
аспірант,
Антонюк О. М. [1; ORCID ID: 0009-0005-8665-7410],
аспірант

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

АГРОМЕЛІОРАТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ВОДОПІДГОТОВКИ РІВНЕНСЬКОЇ АЕС

У статті розглянуто актуальну проблему деградації земельних ресурсів Рівненської області, спричинену недотриманням сівозмін, недостатнім внесенням добрив та припиненням заходів із хімічної меліорації. На основі даних кислотної зйомки 2024 року встановлено, що площа середньо- та сильнокислих ґрунтів, які потребують вапнування, становить 8250 га.

Акцентовано увагу, що відновлення ґрунтів є стратегічним пріоритетом державної політики, що безпосередньо сприятиме виконанню Україною завдання 15.3 Цілей сталого розвитку ООН до 2030 року. Розглянуто механізми реалізації державної програми «Фінансування заходів по захисту, відтворенню та підвищенню родючості ґрунтів».

Обґрунтовано, що використання накопичених 250 тис. тонн шламу Рівненської АЕС є прикладом впровадження моделі циркулярної економіки. Це дозволяє одночасно вирішити екологічну проблему утилізації промислових відходів енергетики та аграрну проблему відновлення родючості ґрунтів.

Ключові слова: вапняний шлам; вапнування; Рівненська АЕС; кислотність ґрунту; циркулярна економіка.

Постановка проблеми. Перехід до ринкових відносин, зміна форм власності вимагають нових підходів щодо розробки шляхів збереження, відтворення та підвищення родючості ґрунтів. Досвід показує, що в сільськогосподарських підприємствах, особливо останніми роками, порушуються землеробські технології господарювання – не дотримуються сівозміни, вносяться низькі норми органічних і мінеральних добрив, не виконується вапнування кислих ґрунтів. Все це призводить до недобору врожаю і зниження родючості ґрунтів, погіршення екологічної ситуації в цілому [1, С. 117]. У контексті деградації земель, зниження родючості ґрунтів та поширення

процесів закислення особливої актуальності набуває пошук нових меліорантів і ресурсозберігаючих технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перспективним напрямом реалізації програми вапнування земель Рівненщини є використання вапняного шламу водопідготовки Рівненської АЕС.

Вапняний шлам утворюється під час виробництва електроенергії на Рівненській АЕС, в результаті процесів хімічного очищення води річки Стир, яка використовується для оборотної системи технічного водопостачання.

Метод водопідготовки на Рівненській АЕС передбачає використання вапна, флокулянтів та коагулянтів для пом'якшення води р. Стир, що супроводжується утворенням значної кількості вапняного шламу. Цей осад, у формі карбонату кальцію (до 97% CaCO_3) [2, С. 12], вилучається з води шляхом відстоювання і за своїм складом є аналогом природних вапняків, що підтверджує доцільність його використання як меліоранта. Зневоднений шлам (вологість 25%), отриманий шляхом пресування на фільтр-пресах лінії зневоднення шламу, пройшов державну реєстрацію «Технічних умов» [3, С. 5], що є підтвердженням його безпечності та ефективності.

На підприємстві передбачено наявність майданчиків для тимчасового та постійного зберігання вапняного шламу [4, С. 89]. На шламонакопичувачі (місце постійного зберігання) станом на 2026 рік накопичено понад 200 тис. тонн відходів – шламу від очищення (освітлення) води. Зневоднений шлам, отриманий в результаті технологічного процесу зневодненого шламу, утворення якого сягає 20 тисяч тонн у рік [5, С. 17] зберігається на окремому майданчику, звідки відбувається його відвантаження для потреб сільськогосподарських підприємств.

У наукових працях Клименка М. О. [2, С. 11–17], Веремеєнка С. І. [6, С. 88–96], Долженчука В. І. [2, С. 11–17; 3], Зінчука М. І. [5], Фурманця О. А. [6, С. 88–96; 7, С. 115–121] та інших обґрунтовано високу ефективність вапнування та підвищення родючості ґрунтів та збільшення врожайності після застосування вапнякових матеріалів – зокрема вапняного шламу Рівненської АЕС. Дослідження підтверджують, що застосування цього меліоранту є дієвим інструментом покращення агрохімічних властивостей супіщаних ґрунтів. Результати робіт обґрунтовують доцільність хімічної

меліорації як базового заходу для відтворення ґрунтового покриву та підвищення економічної ефективності агровиробництва в регіоні.

Таким чином, агро меліоративне використання відходів водопідготовки може стати одним із перспективних напрямів вирішення одразу кількох проблем: зменшення техногенного навантаження на довкілля та підвищення продуктивності сільськогосподарських угідь.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є обґрунтування можливості агро меліоративного використання відходів водопідготовки Рівненської атомної електростанції для зниження кислотності ґрунтів. Завданням дослідження є техніко-економічне обґрунтування та порівняльний аналіз ефективності використання вапняного шламу водопідготовки Рівненської АЕС, у порівнянні з вапном будівельним негашеним, для нейтралізації кислотності ґрунтів Рівненської області.

Виклад основного матеріалу дослідження. У 2024 році Рівненським офісом водних ресурсів у Рівненській області проведено дослідження факторів, що впливають на родючість ґрунтів та їх водно-фізичні властивості, зокрема визначена кислотність ґрунтів на осушувальних землях з інтенсивним сільськогосподарським використанням та землях з природньо низькими показниками родючості, дані представлені в табл. 1 [1, С. 118].

Встановлено, що в останні роки площі кислих ґрунтів залишаються значними, причому їх зростання відбувається переважно за рахунок збільшення частки слабо- та середньокислих ґрунтів. Така тенденція свідчить про недостатнє виконання сільськогосподарськими виробниками заходів із вапнування ґрунтів і коригування сівозмін. За матеріалами кислотної зйомки 2024 року, станом на 01.01.2025, проведення хімічної меліорації потребують середньо- та сильнокислі ґрунти загальною площею 8250 га сільськогосподарських угідь [1, С. 118–119].

Виконаний аналіз стану земельних ресурсів Рівненської області виявило потребу у визначенні відновлення ґрунтів стратегічним пріоритетом державної політики, що безпосередньо сприятиме виконанню Україною завдання 15.3 Цілей сталого розвитку ООН до 2030 року [2, С. 108].

Таблиця 1

Розподіл осушуваних земель області за ступенем кислотності ґрунтів
за матеріалам зйомки 2024 року

№ з/п	Район	Площа кислотної зйомки, га	лужні	нейтральні	кислі (всього)	слабокислі	середньо кислі	сильно кислі
1	Рівненський район							
	Березнівський	2760	-	870	1890	720	810	360
	Костопільський	3210	660	780	1770	600	840	330
2	Вараський район							
	Володимирецький	1740	270	420	1050	270	270	510
	Зарічненський	2280	330	810	1140	330	390	420
3	Сарненський район							
	Сарненський	4920	810	2040	2070	360	960	750
	Рокитнівський	3870	480	1440	1950	720	540	690
	Дубровицький	5400	720	2430	2250	870	720	660
4	Дубенський район							
	Дубенський	930	780	150	-	-	-	-
	Всього в області	30410	9300	9310	11800	4520	5760	1520

В Україні діє спеціалізована державна програма «Фінансування заходів по захисту, відтворенню та підвищенню родючості ґрунтів», яка регламентується Постановою Кабінету Міністрів України від 02.03.2011 року № 180 (у редакції від 29.03.2024 року). У межах цієї програми держава забезпечує фінансову підтримку сільськогосподарських підприємств шляхом надання компенсації за розкислення угідь. Програма охоплює заходи з вапнування дуже сильнокислих (рН < 4,1) та сильнокислих (рН 4,1–4,5) ґрунтів.

Бюджетне фінансування спрямовується на безпосереднє відшкодування витрат, пов'язаних із розробленням проєктно-кошторисної документації, закупівлею меліорантів, зокрема вапняного шламу, а також їхньою логістикою та внесенням у ґрунт. Нормативне відшкодування за програмою становить 500 грн за 1 га оброблених площ [9].

Враховуючи наявність понад 8250 га кислих ґрунтів у Рівненській області, реалізація програми вапнування є стратегічною необхідністю для запобігання подальшій деградації та відновлення родючості земель. Орієнтовна сума бюджетного відшкодування (з розрахунку 500 грн/га) становитиме понад 4,125 млн гривень, за умови повного охоплення цих площ державною програмою підтримки.

В умовах стрімкого зростання цін на меліоранти та логістичні витрати, реалізація програми вапнування земель Рівненщини залишається необхідною, проте її успішне здійснення потребує поєднання державної компенсації та пошук доступних за ціною вапняних матеріалів.

Реалізація державної політики щодо відновлення родючості ґрунтів, закріплена Постановою КМУ № 180, створює фінансову можливість для проведення вапнування. Проте встановлений норматив відшкодування у розмірі 500 грн/га покриває лише частину фактичних витрат аграріїв, особливо в контексті стрімкого подорожчання промислових ресурсів. Наявність понад 8250 га угідь з середньоокислими і кислими ґрунтами у Рівненській області, що потребують хімічної меліорації станом на початок 2025 року, зумовлює необхідність оптимізації витрат на розкислення ґрунтів.

Пріоритетним напрямом дослідження є порівняльний аналіз собівартості вапнування традиційним вапняним матеріалом (вапном будівельним негашеним) та альтернативним меліорантом – вапняним шламом Рівненської АЕС, який за своїми характеристиками близький до природних меліорантів і є доступним в межах регіону.

Для розрахунку собівартості вапнування обрані для порівняння два матеріали: вапно негашене (кальцій оксид), другого сорту, якісні показники якого відповідають нормативним вимогам (вміст діючої речовини в перерахунку на $CaCO_3$ – 80%, вологість – 0%) та зневоднений вапняний шлам Рівненської АЕС (вміст діючої речовини в перерахунку на $CaCO_3$ – 97%, вологість – 25%). Актуальна вартість вапна негашеного складає 6400, 00 грн за 1 т [10], а зневодненого шламу – 16,67 грн за 1 т.

Розрахунки потреби вапна на 1 га (для доведення рН до 6,5) проводяться у діючій речовині за наближеною формулою 1;

$$\text{Норма (CaCO}_3\text{) т/га} = 1,5 \times \text{Нг.} \quad (1)$$

Для розрахунків прийняті норми внесення вапняних матеріалів в перерахунку у вигляді чистого карбонату кальцію (CaCO_3) з вологістю близько 0% та 100% вмістом діючої речовини. Дані наведені в тоннах на гектар (т/га) для підвищення рівня рН до оптимальних значень 6,0–6,5. Орієнтовну норму діючої речовини вапняного матеріалу було визначено за рН відповідно до табл. 2 [3, С. 10].

Таблиця 2

Орієнтовні норми CaCO_3 залежно від рН для піщаних і глинисто-піщаних ґрунтів Полісся

Норма CaCO_3	рН ґрунту								
	4,0	4,3	4,6	4,8	5,0	5,2	5,5	5,7	6,0
Н, т/га	4,0	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,8	0,5	0,3

Для розрахунку норми (Н) внесення вапняного матеріалу у фізичній (реальній) вазі розрахунок був скоригований з урахуванням вмісту діючої речовини (CaCO_3) у вапняному матеріалі та його вологості (табл. 3).

Розрахунки необхідної кількості вапняних матеріалів залежно від площ кислих ґрунтів (середньокислих і сильнокислих) Рівненської області представлені в табл. 4, 5. Площі земель Рівненської області з районуванням, що потребують вапнування наведені в табл. 1.

Таблиця 3

Норми внесення вапняних матеріалів залежно від рН для піщаних і глинисто-піщаних ґрунтів Полісся

Рівень кислотності (рН)	Вапняні матеріали		Вапно негашене 2-го сорту		Вапняний шлам	
	Н _{min} , т/га	Н _{max} , т/га	Н _{min} , т/га	Н _{max} , т/га	Н _{min} , т/га	Н _{max} , т/га
Дуже кислі < 4,5	3,0	4,0	3,8	5,0	4,1	5,5
Середньокислі 4,6 – 5,0	1,5	2,5	1,9	3,1	2,1	3,4

Таблиця 4

Розрахунок необхідної кількості вапнуючих матеріалів залежно залежно від площі середньоокислих ґрунтів Рівненської області

Район досліджених ґрунтів	середньоокислі				
	площа ґрунтів, га	вапно 2-сорт, т		вапняний шлам, т	
		Hmin	Hmax	Hmin	Hmax
		1,9	3,1	2,1	3,4
Рівненський район					
Березнівський	810	1539	2511	1701	2754
Костопільський	840	1596	2604	1764	2856
Всього в районі	1650	3135	5115	3465	5610
Вараський район					
Володимирецький	270	513	837	567	918
Зарічненський	390	741	1209	819	1326
Всього в районі	660	1254	2046	1386	2244
Сарненський район					
Сарненський	960	1824	2976	2016	3264
Рокитнівський	540	1026	1674	1134	1836
Дубровицький	720	1368	2232	1512	2448
Всього в районі	2220	4218	10974	7434	12036
Дубенський район	0	0	0	0	0
Всього в області	4530	8607	18135	12285	19890

Таблиця 5

Розрахунок необхідної кількості вапнуючих матеріалів залежно від площі сильнокислих ґрунтів Рівненської області

Район досліджених ґрунтів	сильнокислі				
	площа ґрунтів, га	вапно 2-го сорту, т		вапняний шлам, т	
		Hmin	Hmax	Hmin	Hmax
		3,8	5,0	4,1	5,5
Рівненський район					
Березнівський	360	1368	1800	1476	1980
Костопільський	330	1254	1650	1353	1815
Всього в районі	690	2622	3450	2829	3795
Вараський район					
Володимирецький	510	1938	2550	2091	2805
Зарічненський	420	1596	2100	1722	2310
Всього в районі	930	3534	4650	3813	5115
Сарненський район					
Сарненський	750	2850	3750	3075	4125
Рокитнівський	690	2622	3450	2829	3795
Дубровицький	660	2508	3300	2706	3630
Всього в районі	2100	7980	19800	16236	21780
Дубенський район	0	0	0	0	0
Всього в області	3720	14136	27900	22878	30690

На основі проведених розрахунків потреби у меліорантах для вапнування ґрунтів Рівненської області можна зробити наступні висновки щодо співвідношення використання негашеного вапна 2-го сорту та вапняного шламу Рівненської АЕС. Незважаючи на високий вміст діючої речовини у шламі (CaCO_3 – 97%), його висока вологість (25%) призводить до того, що фактична фізична маса шламу, необхідна для внесення, є значно більшою, ніж у негашеного вапна.

Також необхідно коригувати розрахунок дози шламу через зміну вологості, яка залежить від умов його зберігання.

Вапно негашене (2-й сорт) має нижчий вміст $CaCO_3$ (80%) порівняно зі шламом (97% у сухій речовині), проте його перевагою є відсутність вологи, що полегшує рівномірне розкидання стандартною технікою.

Важливою перевагою вапняного шламу є те, що на відміну від негашеного вапна, яке через свою високу хімічну агресивність (CaO) потребує обов'язкового внесення в осінній період для стабілізації ґрунтового середовища, вапняний шлам ($CaCO_3$) належить до меліорантів м'якої дії, який швидко нейтралізує кислотність і може вноситися безпосередньо перед посівом, незалежно від сезону.

Загальні витрати на вапнування області залежно від площі кислих ґрунтів Рівненської області, районах та виду вапнувальних матеріалів наведено на рисунку.

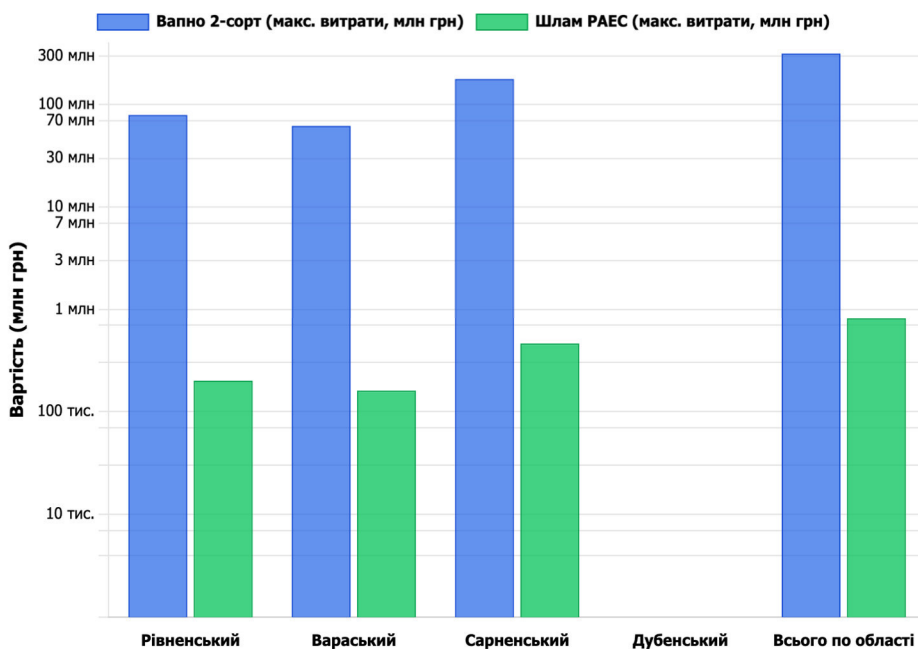


Рисунок. Порівняння витрат по досліджених районах та сумарний показник витрат Рівненської області

Сумарні витрати на використання негашеного вапна для вапнування кислих ґрунтів всієї області коливаються від 133 до 315 млн грн. Натомість використання шламу РАЕС дозволяє покрити ту ж потребу за 0,34–0,81 млн грн. Розрахунок виконаний без врахування витрат для логістичних перевезень.

Згідно з чинним законодавством, встановлений норматив державного відшкодування становить 500 грн/га. Загальна сума державного відшкодування програми вапнування для середньоокислих та сильноокислих ґрунтів області для площі 8 250 га становитиме 4,125 млн грн. Ця сума є фіксованою державною підтримкою, яка спрямовується на компенсацію витрат аграріїв, незалежно від фактичної повної вартості придбаних меліорантів та логістичних витрат, виникає суттєва різниця в її ефективності.

Під час використання негашеного вапна державна допомога у розмірі 4,125 млн грн покриває лише 1,3%–3,1% від загальної вартості матеріалу. У цьому випадку основні фінансові витрати несуть аграрії, що часто призводить до відмови від проведення вапнування.

Використання вапняного шламу робить державну підтримку ефективною, оскільки сума відшкодування у 5–12 разів перевищує вартість самого вапнувального матеріалу, аграрії отримують можливість не лише безкоштовно придбати меліорант, а й за рахунок державних коштів частково покрити витрати на його доставку та внесення в ґрунт та розроблення проєктно-кошторисної документації.

Висновки. Використання вапняного шламу Рівненської АЕС – це найвигідніший спосіб відновити родючість земель нашого регіону. При ціні всього 16,67 грн за тонну, шлам значно дешевший за вапно будівельне негашене. Це робить розкислення ґрунтів доступним як для великих аграрних підприємств так і для невеликих фермерських господарств.

Зазвичай державна підтримка у 500 грн/га покриває лише мізерну частину витрат на вапнування, але у випадку зі шламом коштів вистачить, щоб повністю оплатити вапнувальний матеріал та частково покрити логістичні витрати.

На майданчиках Рівненської АЕС накопичилося понад 250 тисяч тонн шламу, цього обсягу достатньо, для повного покриття потреб області у вапнуванні ґрунтів. Використання шламу є логістично вигідним, що зумовлено скороченням відстані перевезень

територіальною близькістю Рівненської АЕС до основних площ кислих ґрунтів на півночі області.

Ефективна тривалість дії вапнування складає 5–10 років, водночас фактична частота проведення підтримуючих заходів коригується згідно з даними моніторингу кислотності ґрунтів. Враховуючи доступність шламу РАЕС, підтримуюче вапнування можна робити частіше, але меншими дозами, що дозволить постійно тримати нейтральний рН ґрунту (6,0–6,5). Цей підхід не лише покращує якість ґрунтів, але й вирішує екологічну проблему утилізації вапняного шламу, що постійно накопичується в процесі водопідготовки для АЕС. Використання таких промислових відходів для агро меліорації є яскравим прикладом циркулярної економіки, де відходи перетворюються на цінний ресурс для сталого розвитку сільського господарства.

1. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області у 2024 р. Рівне, 2025. С. 242. **2.** Ефективність місцевих вапнякових добрив в умовах Рівненської області / М. О. Клименко та ін. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сільськогосподарські науки*. Рівне : НУВГП, 2014. Вип. 2(66). С. 11–17. **3.** Рекомендації щодо покращення родючості кислих ґрунтів шляхом вапнування, розроблення систем сівозмін, удобрення та захисту рослин / М. І. Зінчук та ін. Маневичі, 2015. 30 с. **4.** Звіт проведення оцінки впливу на довкілля майданчика ВП «Рівненська АЕС». Книга 2. Загальна характеристика Рівненської АЕС. Відходи виробництва. Друга редакція. НТ-Інжиніринг, 2018. 195 с. **5.** Звіт з оцінки впливу на довкілля. Підприємство: ФІЛІЯ «ВП «РІВНЕНСЬКА АЕС» АТ «НАЕК «ЕНЕРГОАТОМ», 2025. 271 с. **6.** Веремеєнко С. І., Фурманець О. А., Піддубняк В. А., Кондратюк М. Ефективність застосування вапнякового шламу в якості меліоранту на дерново-підзолистому супіщаному ґрунті Західного Полісся України. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сільськогосподарські науки*. Рівне, 2018. Вип. 2(82). С. 88–96. URL: <https://visnyk.nuwm.edu.ua/index.php/agri/article/view/789>. (дата звернення: 22.02.2026). **7.** Фурманець О. А., Піддубняк В. А. Вплив вапнякового шламу на кислотність дерново-підзолистого супіщаного ґрунту Західного Полісся України. *Таврійський науковий вісник*. Херсон, 2018. Вип. 104. С. 115–121. URL: https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/104_2018/21.pdf. (дата звернення: 22.02.2026). **8.** Цілі сталого розвитку: Україна. Національна доповідь / Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. Київ, 2017. 174 с. **9.** Про затвердження Порядку використання коштів, передбачених у державному бюджеті для фінансування заходів із захисту, відтворення та підвищення родючості ґрунтів : Постанова Кабінету Міністрів України від 02 березня 2011 р. № 180. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/180-2011-p> (дата звернення: 02.03.2026).

10. Інформація про закупівлю. Вапно будівельне. URL: <https://prozorro.gov.ua/uk/tender/UA-2026-02-11-008370-a> (дата звернення: 02.03.2026).

REFERENCES:

1. Dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Rivnenskkii oblasti u 2024 r. Rivne, 2025. S. 242.
2. Efektyvnist mistsevykh vapniakovykh dobryv v umovakh Rivnenskoï oblasti / M. O. Klymenko ta in. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Silskohospodarski nauky*. Rivne : NUVHP, 2014. Vyp. 2(66). S. 11–17.
3. Rekomendatsii shchodo pokrashchennia rodiuchosti kyslykh gruntiv shliakhom vapnuvannia, rozroblennia system sivozmin, udobrennia ta zakhystu roslyn / M. I. Zinchuk ta in. Manevychi, 2015. 30 s.
4. Zvit provedennia otsinky vplyvu na dovkillia maidanchyka VP «Rivnenska AES». Knyha 2. Zahalna kharakterystyka Rivnenskoï AES. Vidkhody vyrobnytstva. Druha redaktsiia. NT-Inzhynirynh, 2018. 195 s.
5. Zvit z otsinky vplyvu na dovkillia. Pidpriemstvo: FILIa «VP «RIVNENSKA AES» AT «NAEK «ENERHOATOM», 2025. 271 s.
6. Veremeienko S. I., Furmanets O. A., Pidubniak V. A., Kondratiuk M. Efektyvnist zastosuvannia vapniakovooho shlamu v yakosti meliorantu na dernovo-pidzolistomu supishchanomu grunti Zakhidnoho Polissia Ukrainy. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Silskohospodarski nauky*. Rivne, 2018. Vyp. 2(82). S. 88–96. URL: <https://visnyk.nuwm.edu.ua/index.php/agri/article/view/789>. (data zvernennia: 22.02.2026).
7. Furmanets O. A., Pidubniak V. A. Vplyv vapniakovooho shlamu na kyslotnist dernovo-pidzolistoho supishchanoho gruntu Zakhidnoho Polissia Ukrainy. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*. Kherson, 2018. Vyp. 104. S. 115–121. URL: https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/104_2018/21.pdf. (data zvernennia: 22.02.2026).
8. Tsili staloho rozvytku: Ukraina. Natsionalna dopovid / Ministerstvo ekonomichnoho rozvytku i torhivli Ukrainy. Kyiv, 2017. 174 s.
9. Pro zatverdzhennia Poriadku vykorystannia koshtiv, peredbachenykh u derzhavnomu biudzheti dlia finansuvannia zakhodiv iz zakhystu, vidtvorennia ta pidvyshchennia rodiuchosti gruntiv : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 02 bereznia 2011 r. № 180. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/180-2011-p> (data zvernennia: 02.03.2026).
10. Informatsiia pro zakupivliu. Vapno budivelne. URL: <https://prozorro.gov.ua/uk/tender/UA-2026-02-11-008370-a> (data zvernennia: 02.03.2026).

Yaroshchuk O. V. [1; ORCID ID: 0000-0002-1145-5049],
Post-graduate Student,
Antoniuk O. M. [1; ORCID ID: 0009-0005-8665-7410],
Post-graduate Student

¹*National University of Water and Environmental Engineering, Rivne*

AGRICULTURAL RECLAMATION USE OF WATER TREATMENT WASTE FROM RIVNE NPP

The article addresses the pressing issue of soil degradation in the Rivne region, caused by non-compliance with crop rotations, inadequate fertilization, and the cessation of chemical reclamation measures. Based on the 2024 acidity survey data, it was established that the area of medium- and strongly acidic soils requiring liming amounts to 8,250 hectares.

The study emphasizes that soil restoration is a strategic priority of state policy, directly contributing to Ukraine's fulfillment of Target 15.3 of the UN Sustainable Development Goals for 2030. The mechanisms for implementing the state program "Financing Measures for the Protection, Reproduction, and Improvement of Soil Fertility" are examined.

The purpose of this research is a comparative techno-economic analysis of using quicklime (calcium oxide) versus an alternative ameliorant – lime sludge from the Rivne NPP water treatment process – for the liming of acidic soils in the Rivne region. The study employs mathematical modeling methods to determine the application rates of the active substance ($CaCO_3$), accounting for moisture content and the concentration of the reactive component.

The results of the study include calculated expenditures for the procurement of liming materials for regional needs. Specifically, a significant difference in cost-effectiveness was identified between quicklime and RNPP sludge. It is demonstrated that the low cost of lime sludge transforms state aid into a viable financial instrument. While state payments cover only a small fraction of the expenses when using quicklime, in the case of lime sludge, the reimbursement amount many times exceeds the cost of the material itself. This allows farmers to allocate the remaining funds toward logistics, application, and the development of design and estimate documentation.

The conclusions substantiate that the utilization of the 250,000 tons of accumulated lime sludge from the Rivne NPP serves as an exemplar of the circular economy model. This approach simultaneously addresses the

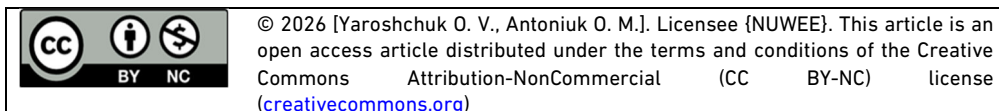
environmental challenge of industrial energy waste disposal and the agricultural challenge of restoring soil fertility.

Keywords: lime sludge; liming; Rivne NPP; soil acidity; circular economy.

Отримано / Received: 05.03.2026

Прийнято до друку / Accepted: 20.03.2026

Опубліковано / Published: 27.03.2026



УДК 631.6:626.8(477.7)"2022/..." <https://doi.org/10.31713/vs1202619>

Пічура В. І. [1; ORCID ID: 0000-0002-0358-1889],

д.с.-г.н., професор,

Потравка Л. О. [1; ORCID ID: 0000-0002-0011-2286],

д.е.н., професор

¹Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон

ВОЄННО ЗУМОВЛЕНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ЗРОШУВАНИХ АГРОЕКОСИСТЕМ ПІВДНЯ УКРАЇНИ: АКТУАЛІЗАЦІЯ ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ В УМОВАХ ГІДРОЛОГІЧНОГО КОЛАПСУ

У статті актуалізовано проблему воєнно зумовленої трансформації зрошуваних агроєкосистем Півдня України в умовах гідрологічного колапсу, спричиненого руйнуванням Каховської гідроелектростанції та осушенням Каховського водосховища. Обґрунтовано, що втрата іригаційної регуляції стала системним тригером переходу аграрних систем від антропогенно керованого водно-теплого режиму до кліматично детермінованого стану функціонування. Теоретичною основою дослідження є концепції соціо-екологічних систем, резильєнтності та режимних зсувів, що дозволяють інтерпретувати сучасні зміни як нелінійний процес втрати біокліматичної стійкості. Розкрито каскадний механізм постіригаційної трансформації у системі «ґрунтова волога – температура – рослинність», за якого дефіцит вологи ініціює підвищення температурного навантаження, пригнічення рослинного покриву, зниження біопродуктивності та формування самопідсилюваних деградаційних процесів. Запропоновано розглядати постіригаційну трансформацію як окремий тип режимного зсуву, спричиненого втратою антропогенного контролю над водним режимом. Визначено перспективні напрями подальших досліджень, зокрема виявлення порогових станів біокліматичної стійкості, просторово-часове моделювання аридизації, інтеграцію супутникових індикаторів у системи моніторингу та оцінку екологічних і соціально-економічних наслідків втрати іригації. Результати дослідження формують наукове підґрунтя для розроблення стратегій сталого повоєнного відновлення Півдня України та адаптації аграрного виробництва до нових кліматичних і ресурсних обмежень.

Ключові слова: воєнний вплив; гідрологічний колапс; Каховське водосховище; зрошувані агроєкосистеми; постіригаційна трансформація; аридизація; біокліматична стійкість; режимний зсув; дистанційне зондування; Південь України.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Сучасний розвиток аграрних систем відбувається в умовах зростаючого впливу глобальних екологічних і соціально-економічних викликів, серед яких провідне місце посідають кліматичні зміни, дефіцит водних ресурсів і деградація земель. За оцінками міжнародних досліджень, понад чотири мільярди людей у світі вже стикаються з гострою нестачею води, що суттєво обмежує можливості продовольчого виробництва та загрожує стабільності аграрних систем [4]. У посушливих і напівпосушливих регіонах ці процеси посилюються під впливом «гарячих посух» (hot droughts), що поєднують дефіцит опадів і підвищення температури та значно прискорюють деградацію екосистем і агроландшафтів [5].

У науковому дискурсі трансформація природних і аграрних систем дедалі частіше розглядається в межах концепцій соціо-екологічних систем (socio-ecological systems), резильєнтності (resilience) та режимних зсувів (regime shifts), які дозволяють інтерпретувати ці системи як нелінійні структури, здатні до різких переходів між альтернативними станами функціонування [1; 2; 3]. Відповідно до цих підходів, зовнішні впливи можуть виступати тригерами критичних переходів (tipping points), після яких система втрачає здатність до самовідновлення і переходить у новий, часто деградований стан [3]. Особливого значення набуває концепція каскадних режимних зсувів, що передбачає послідовну трансформацію взаємопов'язаних компонентів системи та їх взаємне підсилення [7].

В агроекологічному контексті ключову роль у забезпеченні стійкості систем відіграє водний фактор, який визначає продуктивність, структуру землекористування та функціонування агроекосистем. Іригація розглядається як один із ключових механізмів адаптації до кліматичних змін, здатний компенсувати дефіцит природного зволоження, знижувати температурний стрес і підвищувати біокліматичний потенціал територій [18; 19; 20]. Водночас втрата іригаційної регуляції спричиняє протилежний ефект, призводячи до різкого порушення водного балансу, деградації ґрунтів і зниження продуктивності агроландшафтів.

Особливої актуальності ця проблема набуває в умовах воєнно зумовлених порушень природокористування. Повномасштабна війна в Україні спричинила безпрецедентні зміни у функціонуванні

аграрних і водогосподарських систем, що супроводжуються руйнуванням інфраструктури, забрудненням довкілля та порушенням гідрологічного режиму територій [8; 9]. Ключовою подією, яка визначила сучасний стан екосистем Півдня України, стало руйнування Каховської гідроелектростанції у 2023 році, що призвело до осушення Каховського водосховища – головного джерела іригаційного водопостачання регіону [14; 15; 16; 24–29].

Наслідки такого екоциду мають комплексний характер і проявляються у формі гідрологічного колапсу та втрати біокліматичної стійкості територій зони зрошення. Руйнування водосховища та втрата його акумулюючої функції спричинили різке зниження рівня ґрунтових вод, порушення водного балансу та деградацію екосистем. Унаслідок цього відбувається підвищення температури поверхні, прискорення процесів евапотранспірації, формування дефіциту вологи, погіршення фізико-хімічних властивостей ґрунтів і деградація рослинного покриву [14; 16]. У межах зони впливу колишнього водосховища фіксується трансформація агроландшафтів, що проявляється у зниженні біопродуктивності, активізації ерозійних і дефляційних процесів та формуванні стійких ознак аридизації.

Важливою особливістю сучасної трансформації є її накладання на кліматичні зміни, що формує синергетичний ефект впливу. У таких умовах посилюється водний дефіцит, зростає температурне навантаження та прискорюються деградаційні процеси, що переводить аграрні і природні системи у новий, кліматично детермінований режим функціонування [9].

Попри значний розвиток теорії соціо-екологічних систем і режимних зсувів, трансформація аграрних систем унаслідок різких порушень гідрологічного режиму, зокрема воєнно зумовлених гідрологічних колапсів, залишається недостатньо дослідженою. Більшість наукових робіт зосереджена на поступових змінах або окремих компонентах системи, тоді як комплексні механізми каскадної взаємодії процесів у системі «ґрунтова волога – температура – рослинність» потребують системного аналізу та узагальнення.

У цьому контексті особливого значення набуває використання сучасних методів дистанційного зондування Землі, які забезпечують можливість об'єктивної оцінки стану агроекосистем та просторово-часової динаміки їх змін. Супутникові дані щодо вологості ґрунту, температури поверхні та стану рослинності дозволяють формалізувати процеси деградації та розглядати їх як індикатори трансформації аграрних систем [10; 11; 12; 13; 24].

Воєнно зумовлений гідрологічний колапс у зоні впливу Каховського водосховища створив унікальні умови для дослідження трансформації аграрних систем як нелінійного процесу режимного зсуву. Аналіз цих процесів дає змогу об'єктивно оцінити масштаб і руйнівний вплив втрати іригаційної регуляції на біокліматичну стійкість агроєкосистем зони зрошення Півдня України. Водночас це відкриває можливості для поглиблення теоретичних уявлень про функціонування соціо-екологічних систем у кризових умовах та формування наукового підґрунтя для розроблення стратегій сталого повоєнного відновлення й адаптації аграрного сектору до нових кліматичних і ресурсних обмежень.

Мета дослідження полягає у формуванні концептуальних засад вивчення воєнно зумовленої трансформації зрошуваних агроєкосистем Півдня України як нелінійного процесу режимного зсуву, а також у визначенні пріоритетних напрямів подальших наукових досліджень екологічних і соціально-економічних наслідків гідрологічного колапсу, спричиненого руйнуванням Каховської ГЕС та осушення Каховського водосховища.

Дослідження спрямоване на наукове осмислення процесів деградації аграрних систем у зоні активних бойових дій та їх інтерпретацію як результату комплексного впливу воєнних, гідрологічних і кліматичних чинників, а також на обґрунтування підходів до документування екологічних і ресурсних втрат із використанням сучасних методів дистанційного зондування Землі та геоінформаційного аналізу. Отримані результати формують основу для розроблення стратегій сталого повоєнного відновлення територій та водного забезпечення, адаптації аграрного виробництва до нових кліматичних і ресурсних умов.

Матеріали і методи досліджень. *Методологічна основа дослідження.* Дослідження має концептуально-аналітичний характер і спрямоване на наукове узагальнення проблеми воєнно зумовленої трансформації зрошуваних агроєкосистем Півдня України. Методологічною основою роботи є поєднання підходів соціо-екологічних систем, резильєнтності та режимних зсувів, які дозволяють розглядати аграрні системи як складні нелінійні утворення, здатні до втрати стійкості та переходу в альтернативні режими функціонування під впливом зовнішніх шоків [1; 2; 3; 17]. У межах цього підходу воєнно зумовлений гідрологічний колапс,

спричинений руйнуванням Каховської ГЕС та осушенням Каховського водосховища, інтерпретується як критичний тригер трансформації аграрних систем. Такий тригер порушує водно-ресурсну основу функціонування зрошуваних агроландшафтів і запускає каскад змін у системі «ґрунтова волога – температура – рослинність», що відповідає логіці каскадних режимних зсувів [7].

Об'єкт і предмет дослідження. Об'єктом дослідження є зрошувані агроєкосистеми Півдня України в зоні впливу колишнього Каховського водосховища, які внаслідок війни зазнали різкої втрати іригаційної регуляції, порушення водного балансу та деградаційної трансформації. Особливу увагу приділено територіям зони зрошення, де аграрне виробництво історично залежало від водогосподарської інфраструктури Каховського водосховища. Предметом дослідження є теоретичні засади, причинно-наслідкові механізми та перспективні напрями подальшого вивчення воєнно зумовленої трансформації аграрних систем, зокрема втрати їх біокліматичної стійкості, розвитку аридизації та формування нових умов природокористування.

Інформаційна база дослідження. Інформаційну основу роботи становлять сучасні наукові публікації, присвячені режимним зсувам, резильєнтності соціо-екологічних систем, водній безпеці, кліматично зумовленим посухам, впливу іригації на локальний клімат і наслідкам руйнування Каховської ГЕС [1–23]. Для обґрунтування глобального контексту використано дослідження щодо дефіциту водних ресурсів, посилення «гарячих посух» і взаємозв'язку водної, енергетичної та продовольчої безпеки [4; 5; 6]. Для аналізу ролі іригації як чинника стабілізації агроєкосистем враховано праці, у яких показано вплив зрошення на пом'якшення температурних екстремумів, локальний клімат і водний баланс територій [18; 19; 20]. Окрему групу джерел становлять дослідження, присвячені наслідкам російсько-української війни для водної безпеки, довкілля та Каховського водосховища [8; 9; 14; 15; 16; 21–29]. Також використано власні попередні публікації авторів, у яких розглянуто кліматичну трансформацію зони зрошення України, сценарії функціонування території Каховського водосховища, зміни біокліматичного потенціалу, водного балансу та стійкості агроландшафтів [24–33].

Методичний підхід. Методичний підхід ґрунтується на системному узагальненні наукових джерел і концептуальному моделюванні трансформації аграрних систем у кризових умовах. У роботі використано системний аналіз, порівняльно-аналітичний метод, причинно-наслідкове узагальнення, концептуальне моделювання та міждисциплінарну інтерпретацію результатів. Системний аналіз

застосовано для розгляду зрошуваних агроecosистем як складних соціо-еколого-економічних систем, функціонування яких залежить від взаємодії природних, техногенних, кліматичних і воєнних чинників. Порівняльно-аналітичний підхід використано для зіставлення довоєнного і посткризового станів аграрних систем, а також для визначення ролі втрати іригаційної регуляції у формуванні нових умов природокористування.

Підхід до аналізу механізму трансформації. Ключовим елементом дослідження є інтерпретація трансформації агроecosистем через каскадну взаємодію компонентів системи «ґрунтова волога – температура – рослинність». Такий підхід дозволяє розглядати втрату іригаційної регуляції не локальне порушення водозабезпечення та на системний процес, що змінює водний режим, тепловий баланс, стан рослинного покриву та продуктивність агроландшафтів. У цьому контексті дані дистанційного зондування Землі розглядаються як важливий інструмент об'єктивної оцінки просторово-часових змін. Супутникові показники ґрунтової вологи, температури поверхні та стану рослинності дають змогу ідентифікувати прояви деградації, аридизації та втрати біопродуктивності [10; 11; 12; 13; 24–29]. У межах концептуальної статті ці індикатори використовуються як методологічна основа для подальшої формалізації досліджень.

Документування наслідків війни. Окремим методологічним компонентом є підхід до документування екологічних, ресурсних і соціально-економічних наслідків війни. У межах дослідження документування розглядається як науковий інструмент фіксації та інтерпретації трансформацій аграрних систем, спричинених руйнуванням водогосподарської інфраструктури, втратою водозабезпечення, деградацією ґрунтів, пожежами, мінуванням територій і скороченням можливостей агровиробництва. Такий підхід узгоджується з сучасними дослідженнями наслідків війни для водної безпеки України та довкілля Півдня України [8; 9; 14–16]. Він дозволяє поєднати екологічну оцінку з ширшим соціально-економічним контекстом, зокрема проблемами продовольчої безпеки, виживання фермерських господарств і планування повоєнного відновлення громад.

Логіка узагальнення та визначення перспектив досліджень. Узагальнення матеріалів здійснено за логікою переходу від глобального контексту дефіциту водних ресурсів і кліматичних

ризиків до регіонального випадку воєнно зумовленого гідрологічного колапсу в зоні впливу Каховського водосховища. Такий підхід дозволяє сформувати нове теоретичне бачення «постіригаційної трансформації» територій, пов'язане з інтерпретацією різких гідрологічних порушень як тригерів режимних зсувів у керованих аграрних системах.

У цьому контексті трансформація агроєкосистем розглядається як нелінійний процес втрати іригаційно зумовленої стійкості та переходу до кліматично детермінованого функціонування, що супроводжується перебудовою водного балансу, посиленням тепло-посушливого стресу та деградацією біопродуктивного потенціалу територій. На цій основі сформовано концептуальне бачення подальших досліджень, орієнтованих на виявлення порогових станів біокліматичної стійкості агроєкосистем; просторово-часове моделювання процесів аридизації; інтеграцію супутникових індикаторів у системи екологічного моніторингу; оцінку екологічних і соціально-економічних наслідків втрати іригаційної регуляції; обґрунтування сценаріїв сталого повоєнного відновлення аграрного сектору Півдня України.

Результати досліджень. *Теоретичні основи трансформації аграрних систем.* Сучасні аграрні системи розглядаються як складні соціо-екологічні системи, функціонування яких визначається взаємодією природних, техногенних і соціально-економічних чинників. Відповідно до концепції резильєнтності, такі системи здатні підтримувати свою структуру та функції за умов зовнішніх впливів, однак у разі перевищення критичних порогів переходять у альтернативні стани функціонування [2; 17]. Теорія режимних зсувів інтерпретує ці переходи як нелінійні процеси, що супроводжуються різкою перебудовою ключових характеристик системи, зокрема її водного, теплового та біопродуктивного режимів [1]. У цьому контексті зовнішні впливи, включаючи кліматичні екстремуми або антропогенні порушення, можуть виступати тригерами досягнення критичних точок, після яких система втрачає здатність до самовідновлення та переходить у новий стан [3].

Подальший розвиток цієї теоретичної парадигми пов'язаний із концепцією каскадних режимних зсувів, яка передбачає послідовну трансформацію взаємопов'язаних компонентів системи та їх взаємне підсилення [7]. У межах агроєкосистем це означає, що порушення водного режиму ініціює зміни теплового стану поверхні та функціонування рослинного покриву, формуючи каскад деградаційних процесів. Така взаємозалежність компонентів системи

визначає її вразливість до різких зовнішніх впливів і водночас пояснює швидкість та незворотність трансформацій у разі втрати ключових регулюючих факторів.

Роль іригації у формуванні біокліматичної стійкості. У посушливих і напівпосушливих регіонах іригація виступає ключовим фактором стабілізації аграрних систем, компенсуючи дефіцит природного зволоження та забезпечуючи підтримання їх продуктивності [4; 6]. Водночас її функціональна роль не обмежується водопостачанням, а охоплює формування керованого водно-теплового режиму територій. Зрошення впливає на енергетичний баланс поверхні, сприяючи зниженню температури, підвищенню вологості повітря та зменшенню інтенсивності тепло-посушливого стресу, що підтверджено дослідженнями регіональних кліматичних ефектів іригації [18; 20]. Крім того, іригаційні системи можуть модифікувати атмосферні процеси на регіональному рівні, зокрема сприяти збільшенню кількості опадів і формуванню локальних циркуляційних та бризових ефектів [19]. Таким чином, іригація формує штучно стабілізований гідрологічний і мікрокліматичний режим, який забезпечує підтримання біокліматичної стійкості агроєкосистем навіть за умов значного природного водного дефіциту та кліматичних екстремумів. У цих умовах аграрні системи функціонують як керовані соціо-екологічні системи, де антропогенна регуляція водного режиму виступає визначальним фактором їх резильєнтності. Відповідно, стабільність таких систем є функцією безперервності іригаційного впливу, а його порушення створює передумови для втрати контрольованого режиму функціонування та переходу до кліматично детермінованого стану.

Воєнно зумовлений гідрологічний колапс як фактор дестабілізації. Руйнування Каховської гідроелектростанції у 2023 році та осушення Каховського водосховища спричинили різке порушення гідрологічного режиму Півдня України на площі понад 3 млн га та стали безпрецедентним антропогенним шоком для зрошуваних агроєкосистем та прилеглих територій [14–16, 24–29]. Втрата водосховища як основного джерела водопостачання призвела до припинення функціонування іригаційних систем, що фактично означало ліквідацію ключового механізму антропогенної стабілізації аграрних ландшафтів і втрату керованого гідрологічного режиму.

Наслідком цього стало різке зниження рівня ґрунтових вод, порушення водного балансу та деградація екосистем, що підтверджується результатами сучасних досліджень трансформації територій, залежних від колишнього водосховища [22; 23]. У поєднанні з кліматичними змінами ці процеси призвели до посилення дефіциту водних ресурсів, зростання температурного навантаження та погіршення стану рослинного покриву, що узгоджується з оцінками впливу війни на водну безпеку України [8; 9]. У межах концепції соціо-екологічних систем такий гідрологічний колапс доцільно розглядати як тригер режимного зсуву, що ініціює перехід аграрних систем від керованого іригаційного до кліматично детермінованого стану функціонування. Цей перехід супроводжується втратою регуляторних механізмів, перебудовою водно-теплогового режиму та формуванням нової, водозалежно нестабільної системи.

Каскадний механізм постіригаційної трансформації. Трансформація агроекосистем у зоні впливу Каховського водосховища має виражений каскадний характер і відбувається через послідовну зміну взаємопов'язаних компонентів системи «ґрунтова волога – температура – рослинність». Осушення водосховища та втрата іригаційного водопостачання призводять до швидкого виснаження запасів ґрунтової вологи, що виступає первинним тригером деградації системи.

Зменшення вологості ґрунту зумовлює підвищення температури поверхні та інтенсифікацію процесів евапотранспірації, що є характерною ознакою формування умов «гарячих посух» [5]. Це, у свою чергу, призводить до пригнічення рослинного покриву, зниження фотосинтетичної активності та скорочення біомаси. Втрата рослинного покриву посилює теплообмін і зменшує здатність території утримувати вологу, формуючи позитивні зворотні зв'язки, які підсилюють деградаційні процеси.

У системі формується замкнений каскад взаємопов'язаних змін, де кожен наступний етап підсилює попередній: дефіцит ґрунтової вологи → підвищення температури → деградація рослинності → подальше зниження вологоутримуючої здатності території. Така взаємодія компонентів зумовлює нелінійний характер трансформації та прискорює втрату біокліматичної стійкості агроекосистем.

У результаті відбувається перехід системи до нового стану функціонування, який характеризується зниженим рівнем біопродуктивності, розвитком ерозійних і дефляційних процесів та формуванням ознак аридизації. Такий процес відповідає концепції каскадних режимних зсувів, згідно з якою порушення одного з

ключових компонентів системи ініціює послідовну трансформацію інших її елементів [7].

Постіригаційна трансформація як новий науковий підхід. Сформовані умови на Півдні України дозволяють обґрунтувати концепцію постіригаційної трансформації територій як нового наукового підходу до аналізу деградації агроєкосистем. Цей підхід базується на розумінні того, що тривале функціонування аграрних систем в умовах штучної водної регуляції формує специфічний тип антропогенно підтримуваної резильєнтності, втрата якої призводить до різкої перебудови екологічних процесів і функціональних зв'язків у системі.

Перехід від іригаційно стабілізованого до кліматично детермінованого режиму супроводжується зниженням біокліматичного потенціалу, порушенням водного балансу та деградацією агроландшафтів, що підтверджується результатами сучасних досліджень у зоні зрошення України [24; 25; 26; 29; 30]. У цих умовах відбувається трансформація системи з керованого стану, де ключові параметри регулювалися антропогенним водопостачанням, до стану, в якому визначальну роль відіграють природно-кліматичні обмеження.

У цьому контексті постіригаційна трансформація розглядається як окремий тип режимного зсуву, спричиненого втратою антропогенного контролю над водним режимом, що супроводжується переходом системи до нової, водозалежно нестабільної системи. Такий підхід дозволяє інтегрувати гідрологічні, кліматичні та біопродуктивні аспекти деградації в єдину концептуальну модель і створює теоретичне підґрунтя для дослідження поствоєнної трансформації аграрних систем.

Перспективи подальших досліджень. Теоретичні узагальнення, отримані в межах дослідження, дозволяють сформувати цілісне бачення ключових напрямів подальших наукових пошуків, спрямованих на поглиблення розуміння постіригаційної трансформації територій, у тому числі агроєкосистем. У цьому контексті пріоритетними є дослідження порогових станів втрати біокліматичної стійкості, що визначають критичні межі переходу системи до деградованого режиму функціонування, а також просторово-часове моделювання процесів аридизації як нелінійної динаміки деградації агроландшафтів.

Важливим напрямом є інтеграція супутникових індикаторів у системи екологічного моніторингу, що забезпечує можливість кількісної оцінки взаємопов'язаних змін у компонентах системи «ґрунтова волога – температура – рослинність» та їх використання як ранніх індикаторів режимних зсувів. Актуальним є комплексне оцінювання довгострокових екологічних і соціально-економічних наслідків втрати іригаційної регуляції, зокрема впливу на продуктивність аграрного сектору, стан ґрунтових ресурсів і життєздатність сільських територій.

Особливого значення набуває розроблення сценаріїв відновлення водогосподарської інфраструктури та адаптації аграрного виробництва до нових кліматичних і ресурсних обмежень. У цьому контексті науково обґрунтовані підходи до реконструкції іригаційних систем і управління водними ресурсами розглядаються як ключовий інструмент відновлення біокліматичної стійкості агроєкосистем і забезпечення сталого розвитку Півдня України у післявоєнний період [21].

Обговорення. Отримані результати дозволяють інтерпретувати воєнно зумовлену трансформацію зрошуваних агроєкосистем Півдня України як приклад нелінійного режимного зсуву, спричиненого втратою антропогенно керованого гідрологічного режиму. На відміну від більшості досліджень, які розглядають поступові зміни в агроєкосистемах, у цьому випадку спостерігається різкий системний злам, що відповідає концепції критичних переходів (tipping points) у соціо-екологічних системах [1; 3].

Запропонований каскадний механізм трансформації підтверджує положення теорії взаємопов'язаних режимних зсувів, згідно з якою зміни в одному компоненті системи здатні ініціювати послідовну деградацію інших її елементів [7]. У контексті досліджуваної території осушення Каховського водосховища і втрата іригаційного водопостачання виступає первинним тригером, що запускає ланцюг змін у системі «ґрунтова волога – температура – рослинність», формуючи самопідсилюваний механізм деградації.

Особливістю встановлених процесів є те, що вони відбуваються в системі, яка більше 60 років функціонувала в умовах штучної стабілізації. Це дозволяє розглядати постіригаційну трансформацію як окремий тип режимного зсуву, пов'язаний із втратою антропогенно підтримуваної резильєнтності. У цьому аспекті результати дослідження розширюють існуючі уявлення про функціонування соціо-екологічних систем, доповнюючи їх випадками різкого порушення керованих гідрологічних режимів.

Водночас отримані висновки узгоджуються з глобальними дослідженнями ролі водного фактора у забезпеченні стійкості агроєкосистем і підкреслюють критичну залежність продуктивності від доступності водних ресурсів [4; 6]. У поєднанні з кліматичними змінами, зокрема зростанням частоти «гарячих посух», втрата іригації призводить до синергетичного посилення деградаційних процесів [5].

Разом із тим слід враховувати певні обмеження дослідження, пов'язані з його концептуальним характером і обмеженим доступом до польових даних у зоні активних бойових дій. Це зумовлює необхідність подальшої верифікації запропонованих положень на основі детальних емпіричних досліджень, зокрема із використанням дистанційного зондування, польових спостережень і соціально-економічного аналізу.

Практичне значення отриманих результатів полягає у формуванні наукового підґрунтя для розроблення стратегій повоєнного відновлення аграрного сектору Півдня України. Зокрема, відновлення або трансформація іригаційних систем розглядається як ключовий фактор повернення агроєкосистем до стабільного стану або формування нових адаптивних моделей землекористування [21].

Висновки

1. Воєнно зумовлене руйнування Каховської гідроелектростанції та осушення Каховського водосховища спричинили масштабний гідрологічний колапс у зоні зрошення Півдня України, що призвів до втрати керованого водного режиму та дестабілізації агроєкосистем на площі понад 3 млн га.
2. Встановлено, що трансформація аграрних систем у досліджуваному регіоні має нелінійний характер і відповідає концепції режимних зсувів, де втрата іригаційної регуляції виступає тригером переходу від іригаційно стабілізованого до кліматично детермінованого стану функціонування.
3. Обґрунтовано каскадний механізм постіригаційної трансформації, який реалізується через взаємопов'язану систему змін «грунтова волога – температура – рослинність», де дефіцит вологи ініціює підвищення температури, деградацію рослинного покриву та формування самопідсилюваних зворотних зв'язків деградації.
4. Доведено, що втрата антропогенно підтримуваної резильєнтності агроєкосистем призводить до формування

нового, водозалежно нестабільного стану, який характеризується зниженням біокліматичного потенціалу, порушенням водного балансу, розвитком ерозійних і дефляційних процесів та аридизацією території.

5. Запропоновано концепцію постіригаційної трансформації як нового наукового підходу до аналізу деградації аграрних систем, що розширює теорію режимних зсувів шляхом включення випадків втрати антропогенно керованих гідрологічних систем.
6. Визначено пріоритетні напрями подальших досліджень, що включають виявлення порогових станів біокліматичної стійкості, просторово-часове моделювання аридизації, інтеграцію дистанційних індикаторів у системи моніторингу та оцінку соціально-економічних наслідків деградації агроландшафтів.
7. Практичне значення отриманих результатів полягає у формуванні наукового підґрунтя для розроблення стратегій сталого повоєнного відновлення Півдня України, зокрема відновлення водогосподарської інфраструктури та адаптації аграрного виробництва до нових кліматичних і ресурсних обмежень.

Acknowledgments

The project was supported by Documenting Ukraine, a program of the Institute for Human Sciences, IWM Vienna.

1. Scheffer M., Carpenter S., Foley J. A., Folke C., Walker B. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*. 2001. Vol. 413, No. 6856. P. 591–596. DOI: <https://doi.org/10.1038/35098000>.
2. Folke C., Carpenter S. R., Walker B., Scheffer M., Chapin T., Rockström J. Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*. 2010. Vol. 15, No. 4. Art. 20. DOI: <https://doi.org/10.5751/ES-03610-150420>.
3. Dakos V., Matthews B., Hendry A. P., Levine J., Loeuille N., Norberg J., Nosil P., Scheffer M., De Meester L. Ecosystem tipping points in an evolving world. *Nature Ecology & Evolution*. 2019. Vol. 3. P. 355–362. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0797-2>.
4. Mekonnen M. M., Hoekstra A. Y. Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*. 2016. Vol. 2, No. 2. Art. e1500323. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>.
5. Udall B., Overpeck J. The twenty-first century Colorado River hot drought and implications for the future. *Water Resources Research*. 2017. Vol. 53, No. 3. P. 2404–2418. DOI: <https://doi.org/10.1002/2016WR019638>.
6. D'Odorico P., Davis K. F., Rosa L., Carr J. A., Chiarelli D., Dell'Angelo J., Gephart J., MacDonald G. K., Seekell D. A., Suweis S., Rulli M. C. The global food–energy–water nexus. *Reviews of Geophysics*. 2018. Vol. 56, No. 3. P. 456–531. DOI: <https://doi.org/10.1029/2017RG000591>.
7. Rocha J. C., Peterson G., Bodin Ö., Levin S. Cascading regime shifts within and across scales. *Science*. 2018. Vol. 362, No. 6421. P. 1379–1383. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aat7850>.
8. Hapich H., Novitskyi R., Onopriienko D., Dent D., Roubík H. Water security consequences of the Russia–Ukraine war and the post-war outlook. *Water Security*. 2024. Vol. 21. Art. 100167. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2024.100167>.
9. Snizhko S., Didovets I., Bronstert A.

Ukraine's water security under pressure: Climate change and wartime. *Water Security*. 2024. Vol. 23. Art. 100182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2024.100182>.

10. Albergel C., Rüdiger C., Pellarin T., Calvet J.-C., Fritz N., Froissard F., Suquia D., Petitpa A., Pignat B., Martin E. From near-surface to root-zone soil moisture using an exponential filter: An assessment of the method based on in situ observations and model simulations. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2008. Vol. 12. P. 1323–1337. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-12-1323-2008>.

11. Dorigo W., Wagner W., Albergel C., Albrecht F., Balsamo G., Brocca L., Chung D., Ertl M., Forkel M., Gruber A., Haas E., Hamer P. D., Hirschi M., Ikonen J., de Jeu R., Kidd R., Lahoz W., Liu Y. Y., Miralles D., Lecomte P. ESA CCI soil moisture for improved earth system understanding: State-of-the-art and future directions. *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 203. P. 185–215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.001>.

12. Li Z.-L., Tang B.-H., Wu H., Ren H., Yan G., Wan Z., Trigo I. F., Sobrino J. A. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*. 2013. Vol. 131. P. 14–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>.

13. Baret F., Weiss M., Lacaze R., Camacho F., Makhmara H., Pacholczyk P., Smets B. GEOV1; LAI and FAPAR essential climate variables and FCOVER global time series capitalizing over existing products. Part 1; Principles of development and production. *Remote Sensing of Environment*. 2013. Vol. 137. P. 299–309. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.027>.

14. Vyshnevskiy V., Shevchuk S., Komorin V., Oleynik Y., Gleick P. H. The destruction of the Kakhovka dam and its consequences. *Water International*. 2023. Vol. 48, No. 5. P. 631–647. DOI: <https://doi.org/10.1080/02508060.2023.2247679>.

15. Spears B. M., Harpham Q., Brown E., Barnett C. L., Barwell L., Roca Collell M., Davison M., Dixon H., Elliott J. A., Garbutt A., Hazlewood C., Hofmann B., Lanyon J., Loftis S., MacKechnie C., Medinets S., Noble J., Ramsbottom D., Redhead J. W., Riera A., Spurgeon D. J., Svendsen C., Taylor P., Thackeray S. J., Wood M. D. A rapid environmental risk assessment of the Kakhovka Dam breach during the Ukraine conflict. *Nature Ecology & Evolution*. 2024. Vol. 8. P. 834–836. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02373-0>.

16. Shumilova O. et al. Environmental effects of the Kakhovka Dam destruction by warfare in Ukraine. *Science*. 2025. Vol. 387, No. 6739. P. 1181–1186. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.adn8655>.

17. Holling C. S. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 1973. Vol. 4. P. 1–23. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>.

18. Kueppers L. M., Snyder M. A., Sloan L. C. Irrigation cooling effect: Regional climate forcing by land-use change. *Geophysical Research Letters*. 2007. Vol. 34. Art. L03703. DOI: <https://doi.org/10.1029/2006GL028679>.

19. Alter R. E., Im E.-S., Eltahir E. A. B. Rainfall consistently enhanced around the Gezira Scheme in East Africa due to irrigation. *Nature Geoscience*. 2015. Vol. 8. P. 763–767. DOI: <https://doi.org/10.1038/ngeo2514>.

20. Thiery W. et al. Warming of hot extremes alleviated by expanding irrigation. *Nature Communications*. 2020. Vol. 11. Art. 290. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14075-4>.

21. Romashchenko M., Faybishenko B., Onopriienko D., Hapich H., Novitskiy R., Dent D. Prospects for restoration of Ukraine's irrigation system. *Water International*. 2025. P. 104–120. DOI: <https://doi.org/10.1080/02508060.2025.2472718>.

22. Vyshnevskiy V. I., Shevchuk S. A. Natural processes in the area of the former Kakhovske Reservoir after the destruction of the Kakhovka HPP. *Journal of Landscape Ecology*. 2024. Vol. 17, No. 2. P. 147–164. DOI: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2024-0014>.

23. Vyshnevskiy V. I., Shevchuk S. A. The impact of the Kakhovka dam destruction on the water temperature in the lower reaches of the Dnipro River and the former Kakhovske reservoir. *Journal of Landscape Ecology*. 2024. Vol. 17, No. 2. P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2024-0008>. **24.** Pichura V., Potravka L. Impact of war on natural and climatic transformation of territories in the irrigation zone of Ukraine. *Discover Applied Sciences*. 2025. Vol. 7. Art. 783. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07404-4>. **25.** Pichura V., Potravka L., Stoiko N., Dudych H. Scenarios for the functioning of the Kakhovka Reservoir territory. *Journal of Landscape Ecology*. 2025. Vol. 18, No. 3. P. 118–154. DOI: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2025-0023>. **26.** Pichura V., Potravka L., Boiko P. Climatic and hydrological conditions for the formation of vegetation cover in the drained Kakhovka Reservoir's territory. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2025. Vol. 26, No. 4. P. 357–373. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/202227>. **27.** Pichura V., Potravka L., Dudiak N., Bahinskyi O. Natural and climatic transformation of the Kakhovka Reservoir after the destruction of the dam. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. Vol. 25, No. 7. P. 82–104. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/187961>. **28.** Pichura V., Potravka L., Dudiak N., Hyrlyia L. The impact of the russian armed aggression on the condition of the water area of the Dnipro-Buh estuary system. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2024. Vol. 25, No. 11. P. 58–82. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/192154>. **29.** Pichura V. et al. Long-term changes in the stability of agricultural landscapes in the areas of irrigated agriculture of the Ukraine steppe zone. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24, No. 3. P. 188–198. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/158553>. **30.** Pichura V. et al. Changes in climate and bioclimatic potential in the steppe zone of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23, No. 12. P. 189–202. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/154844>. **31.** Pichura V., Potravka L., Barulina I. Agricultural dependence of the formation of water balance stability of the Sluch River Basin under conditions of climate change. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2023. Vol. 24, No. 9. P. 300–325. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/174163>. **32.** Dudiak N., Pichura V., Potravka L., Stratichek N. Environmental and economic effects of water and deflation destruction of steppe soil in Ukraine. *Journal of Water and Land Development*. 2021. Vol. 50. P. 10–26. DOI: <https://doi.org/10.24425/jwld.2021.138156>. **33.** Pichura V., Potravka L., Dudiak N., Stroganov A., Dyudyaeva O. Spatial differentiation of regulatory monetary valuation of agricultural land in conditions of widespread irrigation of steppe soils. *Journal of Water and Land Development*. 2021. Vol. 48. P. 182–196. DOI: <https://doi.org/10.24425/jwld.2021.136161>

REFERENCES:

1. Scheffer M., Carpenter S., Foley J. A., Folke C., Walker B. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*. 2001. Vol. 413, No. 6856. P. 591–596. DOI: <https://doi.org/10.1038/35098000>. **2.** Folke C., Carpenter S. R., Walker B., Scheffer M., Chapin T., Rockström J. Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*. 2010. Vol. 15, No. 4. Art. 20. DOI: <https://doi.org/10.5751/ES-03610-150420>. **3.** Dakos V., Matthews B., Hendry A. P., Levine J., Loeuille N., Norberg J., Nosil P., Scheffer M., De Meester L. Ecosystem tipping points in an evolving world. *Nature Ecology & Evolution*. 2019. Vol. 3. P. 355–362. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0797-2>. **4.** Mekonnen M. M., Hoekstra A. Y. Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*. 2016. Vol. 2, No. 2.

Art. e1500323. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>. **5.** Udall B., Overpeck J. The twenty-first century Colorado River hot drought and implications for the future. *Water Resources Research*. 2017. Vol. 53, No. 3. P. 2404–2418. DOI: <https://doi.org/10.1002/2016WR019638>. **6.** D'Odorico P., Davis K. F., Rosa L., Carr J. A., Chiarelli D., Dell'Angelo J., Gephart J., MacDonald G. K., Seekell D. A., Suweis S., Rulli M. C. The global food–energy–water nexus. *Reviews of Geophysics*. 2018. Vol. 56, No. 3. P. 456–531. DOI: <https://doi.org/10.1029/2017RG000591>. **7.** Rocha J. C., Peterson G., Bodin Ö., Levin S. Cascading regime shifts within and across scales. *Science*. 2018. Vol. 362, No. 6421. P. 1379–1383. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aat7850>. **8.** Hapich H., Novitskyi R., Onopriienko D., Dent D., Roubík H. Water security consequences of the Russia–Ukraine war and the post-war outlook. *Water Security*. 2024. Vol. 21. Art. 100167. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2024.100167>. **9.** Snizhko S., Didovets I., Bronstert A. Ukraine's water security under pressure: Climate change and wartime. *Water Security*. 2024. Vol. 23. Art. 100182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2024.100182>. **10.** Albergel C., Rüdiger C., Pellarin T., Calvet J.-C., Fritz N., Froissard F., Suquia D., Petitpa A., Pignatelli B., Martin E. From near-surface to root-zone soil moisture using an exponential filter: An assessment of the method based on in situ observations and model simulations. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2008. Vol. 12. P. 1323–1337. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-12-1323-2008>. **11.** Dorigo W., Wagner W., Albergel C., Albrecht F., Balsamo G., Brocca L., Chung D., Ertl M., Forkel M., Gruber A., Haas E., Hamer P. D., Hirschi M., Ikonen J., de Jeu R., Kidd R., Lahoz W., Liu Y. Y., Miralles D., Lecomte P. ESA CCI soil moisture for improved earth system understanding: State-of-the-art and future directions. *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 203. P. 185–215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.001>. **12.** Li Z.-L., Tang B.-H., Wu H., Ren H., Yan G., Wan Z., Trigo I. F., Sobrino J. A. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*. 2013. Vol. 131. P. 14–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>. **13.** Baret F., Weiss M., Lacaze R., Camacho F., Makhmara H., Pacholczyk P., Smets B. GEOV1; LAI and FAPAR essential climate variables and FCOVER global time series capitalizing over existing products. Part 1; Principles of development and production. *Remote Sensing of Environment*. 2013. Vol. 137. P. 299–309. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.027>. **14.** Vyshnevskiy V., Shevchuk S., Komorin V., Oleynik Y., Gleick P. H. The destruction of the Kakhovka dam and its consequences. *Water International*. 2023. Vol. 48, No. 5. P. 631–647. DOI: <https://doi.org/10.1080/02508060.2023.2247679>. **15.** Spears B. M., Harpham Q., Brown E., Barnett C. L., Barwell L., Roca Collell M., Davison M., Dixon H., Elliott J. A., Garbutt A., Hazlewood C., Hofmann B., Lanyon J., Lofts S., MacKechnie C., Medinets S., Noble J., Ramsbottom D., Redhead J. W., Riera A., Spurgeon D. J., Svendsen C., Taylor P., Thackeray S. J., Wood M. D. A rapid environmental risk assessment of the Kakhovka Dam breach during the Ukraine conflict. *Nature Ecology & Evolution*. 2024. Vol. 8. P. 834–836. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02373-0>. **16.** Shumilova O. et al. Environmental effects of the Kakhovka Dam destruction by warfare in Ukraine. *Science*. 2025. Vol. 387, No. 6739. P. 1181–1186. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.adn8655>. **17.** Holling C. S. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 1973. Vol. 4. P. 1–23. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>. **18.** Kueppers L. M., Snyder M. A., Sloan L. C. Irrigation cooling effect: Regional climate forcing by land-use change. *Geophysical Research Letters*. 2007. Vol. 34. Art. L03703. DOI: <https://doi.org/10.1029/2006GL028679>. **19.** Alter R. E., Im E.-S., Eltahir E. A. B. Rainfall

consistently enhanced around the Gezira Scheme in East Africa due to irrigation. *Nature Geoscience*. 2015. Vol. 8. P. 763–767. DOI: <https://doi.org/10.1038/ngeo2514>. **20.** Thiery W. et al. Warming of hot extremes alleviated by expanding irrigation. *Nature Communications*. 2020. Vol. 11. Art. 290. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14075-4>. **21.** Romashchenko M., Faybishenko B., Onopriienko D., Hapich H., Novitskyi R., Dent D. Prospects for restoration of Ukraine's irrigation system. *Water International*. 2025. P. 104–120. DOI: <https://doi.org/10.1080/02508060.2025.2472718>. **22.** Vyshnevskiy V. I., Shevchuk S. A. Natural processes in the area of the former Kakhovske Reservoir after the destruction of the Kakhovka HPP. *Journal of Landscape Ecology*. 2024. Vol. 17, No. 2. P. 147–164. DOI: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2024-0014>. **23.** Vyshnevskiy V. I., Shevchuk S. A. The impact of the Kakhovka dam destruction on the water temperature in the lower reaches of the Dnipro River and the former Kakhovske reservoir. *Journal of Landscape Ecology*. 2024. Vol. 17, No. 2. P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2024-0008>. **24.** Pichura V., Potravka L. Impact of war on natural and climatic transformation of territories in the irrigation zone of Ukraine. *Discover Applied Sciences*. 2025. Vol. 7. Art. 783. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07404-4>. **25.** Pichura V., Potravka L., Stoiko N., Dudych H. Scenarios for the functioning of the Kakhovka Reservoir territory. *Journal of Landscape Ecology*. 2025. Vol. 18, No. 3. P. 118–154. DOI: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2025-0023>. **26.** Pichura V., Potravka L., Boiko P. Climatic and hydrological conditions for the formation of vegetation cover in the drained Kakhovka Reservoir's territory. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2025. Vol. 26, No. 4. P. 357–373. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/202227>. **27.** Pichura V., Potravka L., Dudiak N., Bahinskyi O. Natural and climatic transformation of the Kakhovka Reservoir after the destruction of the dam. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. Vol. 25, No. 7. P. 82–104. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/187961>. **28.** Pichura V., Potravka L., Dudiak N., Hyrlya L. The impact of the russian armed aggression on the condition of the water area of the Dnipro-Buh estuary system. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2024. Vol. 25, No. 11. P. 58–82. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/192154>. **29.** Pichura V. et al. Long-term changes in the stability of agricultural landscapes in the areas of irrigated agriculture of the Ukraine steppe zone. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24, No. 3. P. 188–198. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/158553>. **30.** Pichura V. et al. Changes in climate and bioclimatic potential in the steppe zone of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23, No. 12. P. 189–202. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/154844>. **31.** Pichura V., Potravka L., Barulina I. Agricultural dependence of the formation of water balance stability of the Sluch River Basin under conditions of climate change. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2023. Vol. 24, No. 9. P. 300–325. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/174163>. **32.** Dudiak N., Pichura V., Potravka L., Stratichuk N. Environmental and economic effects of water and deflation destruction of steppe soil in Ukraine. *Journal of Water and Land Development*. 2021. Vol. 50. P. 10–26. DOI: <https://doi.org/10.24425/jwld.2021.138156>. **33.** Pichura V., Potravka L., Dudiak N., Stroganov A., Dyudyaeva O. Spatial differentiation of regulatory monetary valuation of agricultural land in conditions of widespread irrigation of steppe soils. *Journal of Water and Land Development*. 2021. Vol. 48. P. 182–196. DOI: <https://doi.org/10.24425/jwld.2021.136161>

Pichura V. I. [1; ORCID ID: 0000-0002-0358-1889],
Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Potravka L. O. [1; ORCID ID: 0000-0002-0011-2286],
Doctor of Economics, Professor

¹*Kherson State Agrarian and Economic University, Kherson*

WAR-INDUCED TRANSFORMATION OF IRRIGATED AGROECOSYSTEMS IN SOUTHERN UKRAINE: PROBLEM ACTUALIZATION AND RESEARCH PERSPECTIVES UNDER CONDITIONS OF HYDROLOGICAL COLLAPSE

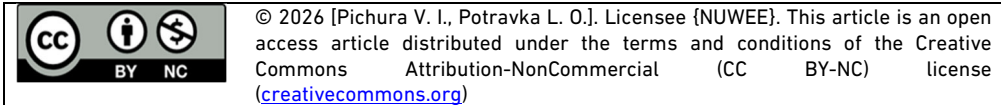
The article addresses the problem of war-induced transformation of irrigated agroecosystems in Southern Ukraine under conditions of hydrological collapse caused by the destruction of the Kakhovka Hydroelectric Power Plant and the drainage of the Kakhovka Reservoir. It is substantiated that the loss of irrigation regulation has become a systemic trigger for the transition of agricultural systems from an anthropogenically controlled water–thermal regime to a climate-driven state of functioning. The theoretical framework of the study is based on the concepts of socio-ecological systems, resilience, and regime shifts, which allow interpreting current transformations as a nonlinear process of loss of bioclimatic stability.

The cascading mechanism of post-irrigation transformation within the system “soil moisture – temperature – vegetation” is revealed, where moisture deficit initiates an increase in thermal stress, suppression of vegetation cover, decline in bioproductivity, and the formation of self-reinforcing degradation processes. It is proposed to consider post-irrigation transformation as a specific type of regime shift caused by the loss of anthropogenic control over the hydrological regime.

Prospective directions for further research are identified, including the detection of threshold states of bioclimatic stability, spatio-temporal modeling of aridification processes, integration of satellite-based indicators into environmental monitoring systems, and assessment of environmental and socio-economic consequences of irrigation loss. The results of the study provide a scientific basis for developing strategies for sustainable post-war recovery of Southern Ukraine and for adapting agricultural production to new climatic and resource constraints.

Keywords: war impact; hydrological collapse; Kakhovka Reservoir; irrigated agroecosystems; post-irrigation transformation; aridification; bioclimatic stability; regime shift; remote sensing; Southern Ukraine.

Отримано / Received: 05.03.2026
Прийнято до друку / Accepted: 20.03.2026
Опубліковано / Published: 27.03.2026



ЗМІСТ

Бреус Д. С.	Інтегрована біоіндикаційна оцінка природної та техногенної безпеки водних екосистем (на прикладі Верхнього Канівського водосховища)	3
Валерко Р. А.	Оцінка внеску органічного виробництва у досягненні цілей сталого розвитку	16
Гаврилюк В. А., Мелимука Р. Я., Бортнік Т. П.	Інтенсивність емісії діоксиду карбону як індикатор адаптації меліорованих ґрунтів Західного Полісся до кліматичних змін	25
Гунчак М. В., Паламарчук Р. П., Пасічняк В. І., Грищенко О. М.	Стан родючості ґрунтів гірської зони Чернівецької області	36
Зосимчук М. Д., Поліщук О. С.	Господарська та екологічна оцінка вирощування сої в зоні Західного Полісся України на різних типах ґрунтів	49
Караїм О. А., Цьось О. О., Лавринюк З. В., Клочун І. Б.	Екологічний аналіз лісгосподарської діяльності в контексті забезпечення екосистемних послуг	60
Клименко О. М., Клименко Л. В., Каськів М. В.	Цитогенетичний моніторинг як метод інтегральної оцінки стану урбоекосистеми м. Рівного	78
Клименко М. О., Рабешко Я. І.	Оцінка родючості ґрунтового покриву басейну річки Устя за показниками комплексного агрохімічного бала	96

Ковальчук С. В., Калько А. Д., Рибак В. В.	Вплив поверхневого стоку та кліматичних факторів на формування екосистеми шельфової зони моря	110
Ліхо О. А., Сафонов Р. В., Гакало О. І., Вознюк Н. М., Скиба В. П.	Прогнозування ризиків нітратного та мікробіологічного забруднення джерел нецентралізованого водопостачання	120
Максютов А. О., Хіміч М. І.	Визначення ландшафтного різноманіття агроландшафтів на основі даних дистанційного зондування Землі	142
Мороз О. С., Солодка Т. М., Опанасюк Д. В.	Аналіз впливу обрізки плодових дерев на розповсюдження шкідників та хвороб	157
Морозова Т. В., Бондар О. І., Присяжний В. І.	Адаптація <i>Allium Cera</i> L. до умов зниженої освітленості	170
Польовий В. М., Фурманець М. Г., Фурманець Ю. С.	Ефективність використання вологи пшеницею озимою за різних способів обробітків ґрунту і використання на удобрення побічної вегетативної маси у Західному Лісостепу України	183
Прищепка А. М., Буднік З. М., Полтавченко Т. В., Ковальчук Н. С., Рабешко О. В.	Стратегія зниження екологічних ризиків для водних об'єктів Рівненського району за умов зміни клімату	194
Ціпан Ю. Р.	Порівняльна оцінка вмісту рухомих форм важких металів у лісових ґрунтах з різним рівнем антропогенного навантаження	207

Ященко Л. А., Колесник Т. М., Андрощук О. О., Злотенко О. Ю.	Селекційна оцінка та оптимізація сортового складу ячменю озимого за різних рівнів інтенсифікації технології виращування в умовах Західного Лісостепу	217
Ярощук О. В., Антонюк О. М.	Агромеліоративне використання відходів водопідготовки Рівненської АЕС	228
Пічура В. І., Потравка Л. О.	Воєнно зумовлена трансформація зрошуваних агроєкосистем півдня України: актуалізація проблеми та перспективи досліджень в умовах гідрологічного колапсу	242

CONTENT

Breus D. S.	Integrated Bioindication-based Assessment of Natural and Technogenic Safety of Aquatic Ecosystems (Case Study of the Upper Kaniv Reservoir)	3
Valerko R. A.	Assessment of the Contribution of Organic Production to the Achievement of Sustainable Development Goals	16
Havryliuk V. A., Melymuka R. Ya., Bortnik T. P.	Carbon Dioxide Emission Intensity as an Indicator of Adaptation of Reclaimed Soils of Western Polissia to Climate Change	25
Hunchak M. V., Palamarchuk R. P., Pasichniak V. I., Hryshchenko O. M.	Soil Fertility State of the Mountain Zone of Chernivtsi Region	36
Zosymchuk M. D., Polishchuk O. S.	Economic and Environmental Assessment of Soybean Growing in the Western Polissia Zone of Ukraine on Various Soil Types	49
Karaim O. A., Tsos O. O., Lavryniuk Z. V., Klochun I. B.	Environmental Analysis of Forestry Activities in the Context of Ecosystem Service Provision	60
Klymenko O. M., Klymenko L. V., Kaskiv M. V.	Cytogenetic Monitoring As the Method of Integral Evaluation of Urban System State of Rivne	78
Klymenko M. O., Rabeshko Y. I.	Assessment of Soil Fertility in the Ustia River Basin According to the Complex Agrochemical Score	96

Kovalchuk S. V., Kalko A. D., Rybak V. V.	Influence of Surface Run and Climatic Factors on the Formation of the Ecosystem of the Sea Shelf Zone 110
Likho O. A., Safonov R. V., Gakalo O. I., Vozniuk N. M., Skyba V. P.	Forecasting the Risks of Nitrate and Microbiological Pollution of Sources of District Water Supply 120
Maksiutov A. O., Khimich M. I.	Determination of Landscape Diversity of Agrolands Based on Remote Sensing Data 142
Moroz O. S., Solodka T. M., Opanasiuk D. V.	Analysis of the Impact of Pruning of Fruit Trees on the Spread of Pests and Diseases 157
Morozova T. V., Bondar O. I., Prysiashnyi V. I.	Adaptation of <i>Allium Cepa</i> L. to Conditions of Reduced Light Intensity 170
Polovyi V. M., Furmanets M. H., Furmanets Yu. S.	Efficiency of Moisture Use by Winter Wheat Under Various Soil Treatment Methods and Use of Side Vegetative Mass for Fertilization in the Western Forest-Steppe of Ukraine 183
Pryshchepa A. M., Budnik Z. M., Poltavchenko T. V., Kovalchuk N. S., Rabeshko O. V.	Strategy for Reducing Environmental Risks to Water Bodies of the Rivne District Under Climate Change Conditions 194
Tsipan Yu. R.	Comparative Assessment of the Content of Mobile Forms of Heavy Metals in Forest Soils with Different Levels of Anthropogenic Load 207

Yashchenko L. A., Kolesnyk T. M., Androshchuk O. O., Zlotenko O. Yu.	Breeding Assessment and Optimization of Winter Barley Cultivar Composition Under Different Levels of Cultivation Intensity in the Western Forest-Steppe	217
Yaroshchuk O. V., Antoniuk O. M.	Agricultural Reclamation Use of Water Treatment Waste From Rivne NPP	228
Pichura V. I., Potravka L. O.	War-induced Transformation of Irrigated Agroecosystems in Southern Ukraine: Problem Actualization and Research Perspectives Under Conditions of Hydrological Collapse	242

Наукове видання

ВІСНИК
Національного університету водного
господарства та природокористування

Збірник наукових праць

Випуск 1(113)

Сільськогосподарські науки

Комп'ютерна верстка
Технічний редактор
Літературний редактор

Галина Сімчук
Галина Сімчук
Ольга Якимчук

Друкується в авторській редакції

Підписано до друку 27.03.2026 р. Формат 70×100¹/₁₆.
Ум.-друк. арк. 15,5. Обл.-вид. арк. 17,3.
Тираж 150 прим. Зам. № 5685.

Видавець і виготовлювач
Національний університет
водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції РВ № 31 від 26.04.2005 р.